# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

## ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารประกอบคลอโรฟีนอล ในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม

## The Photocatalytic of Bismuth Vanadate Powder Prepared by the Solvothermal-Microwave Method for Degradation of Chlorophenol Compound in Natural Water from the Activity of Agriculture

โดย

ภูสิต ปุกมณี และ จิราภรณ์ กิติกุล

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2556

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-55-016

# รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดย
วิธีโซโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารประกอบ
คลอโรฟีนอล ในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม

**The Photocatalytic of Bismuth Vanadate Powder Prepared by the Solvothermal-Microwave Method for Degradation of Chlorophenol Compound in Natural Water from the Activity of Agriculture**

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2555
จำนวน 346,500 บาท

หัวหน้าโครงการ ภูสิต ปุกมณี
ผู้ร่วมโครงการ จิราภรณ์ กิติกุล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์
30/ก.ย./2556

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารประกอบคลอโรฟีนอล ในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม (The Photocatalytic of Bismuth Vanadate Powder Prepared by the Solvothermal-Microwave Method for Degradation of Chlorophenol Compound in Natural Water from the Activity of Agriculture) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2555

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่การสนับสนุนอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์และสถานที่ ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บุคลากร สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งช่วยประสานงานในด้านเอกสารงานราชการ ในการติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

# สารบัญ

# สารบัญตาราง

# สารบัญภาพ

หน้า

หน้า

# ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารประกอบคลอโรฟีนอล ในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม

# The Photocatalytic of Bismuth Vanadate Powder Prepared by the Solvothermal-Microwave Method for Degradation of Chlorophenol Compound in Natural Water from the Activity of Agriculture

**ภูสิต ปุกมณี[1] จิราภรณ์ กิติกุล[1]**

**Pusit Pookmanee[1] Jiraporn Kitikul[1]**

[1]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

[1]Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University, ChiangMai

## บทคัดย่อ

การเตรียมผงบิสมัธวานาเดต โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเทรตเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดตในอัตราส่วน 1:1 สารละลาย A: บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรต ละลายในกรดอะซิติกเข้มข้น 5.0 โมลาร์ (A1) และกรดไนตริกเข้มข้น 4.0 โมลาร์ (A2) และสารละลาย B: แอมโมเนียมวานาเดต ละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6.0 โมลาร์ (B1) และน้ำปราศจากไอออน (B2) ตามลำดับ สำหรับวิธีโซเวอร์เทอร์มอล นำสารละลาย A1 และสารละลาย B1 ผสมเข้าด้วยกันและปรับด้วยกรดอะซิติกเข้มข้น 5.0 โมลาร์ จนกระทั่ง pH ของสารละลายผสมมีค่า เท่ากับ 5 ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง ตามลำดับ ตะกอนสีเหลืองที่ได้นำไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และสำหรับวิธีไมโครเวฟ นำสารละลาย A2 และสารละลาย B2 ผสมเข้าด้วยกันและปรับด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ จนกระทั่ง pH ของสารละลายผสมมีค่า เท่ากับ 7 ภายใต้สภาวะโดยใช้กำลังไฟฟ้าที่ 600-850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที ทำการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของผงบิสมัธวานาเดต โดยเทคนิคเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM) เทคนิคการกระจายพลังงานทางสเปกโทรสโคปี (EDS) และเทคนิคการวิเคราะห์พื้นที่ผิวเฉพาะ (BET) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอล โดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดต และทำการตรวจวัดหาปริมาณสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอล โดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC)

คำสำคัญ: โฟโตแคตาไลติกส์ วิธีโซเวอร์เทอร์มอล วิธีไมโครเวฟ บิสมัธวานาเดต ฟีนอล คลอโรฟีนอล

## ABSTRACT

Bismuth vanadate ($BiVO_4$) powder was prepared by solvothermal and microwave method. Bismuth nitrate pentahydrate and ammonium vanadate were used as the starting precursors with mole ratio of 1:1. Solution A: bismuth nitrate pentahydrate was dissolved with 5.0M acetic acid (A1) and 4.0M nitric acid (A2) and solution B: ammonium vanadate was dissolved with 6.0M ammonium hydroxide (B1) and deionized water (B2), respectively. For solvothermal method, solution A1 and solution B1 were mixed together and adjusted with 5.0M acetic acid until the final pH was 5 and heated at 100-200 °C for 2-6 h., respectively. For microwave method, solution A2 and solution B2 were mixed together and adjusted with 2.0M ammonium hydroxide until the final pH was 7. The condition of microwave method was used the power of 600-850 Watt for 2-6 min. Yellow precipitated powder was dried at 100 $^{o}$C for 24 h. The powder was characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectrocopy (EDS) and surface area analysis (BET). The photocatalytic degradation efficiency of phenol and chlorophenol onto bismuth vanadate was studied. The amount of phenol and chlorophenol were determined by gas chromatograph (GC).

Keywords: Photocatalytic, solvothermal method, microwave method, bismuth vanadate, phenol, chlorophenol

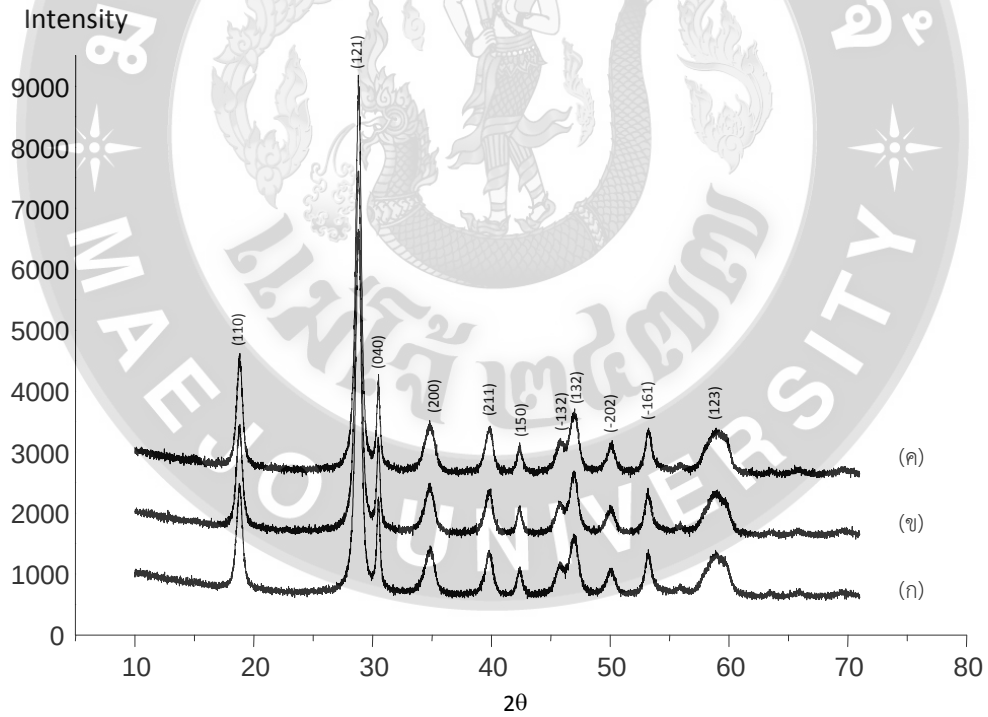
# ผลการวิจัย

## การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของผงบิสมัธวานาเดต

### การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD)

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ซึ่งมีสารตั้งต้นคือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

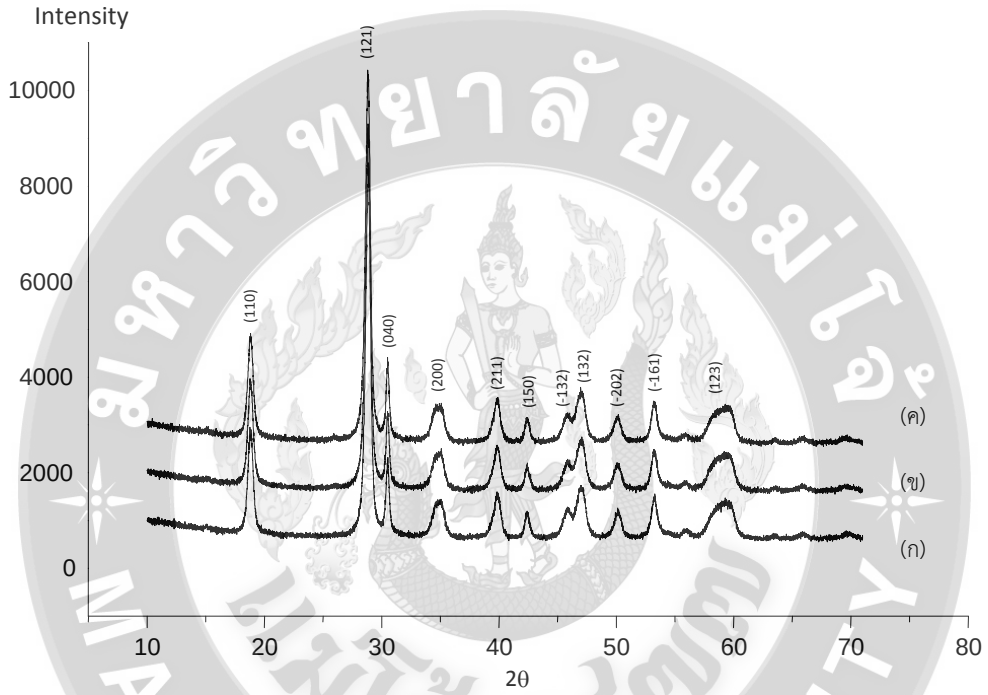
พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688[30] บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก




**ภาพที่ 7** รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688 [30] บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 8 (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก

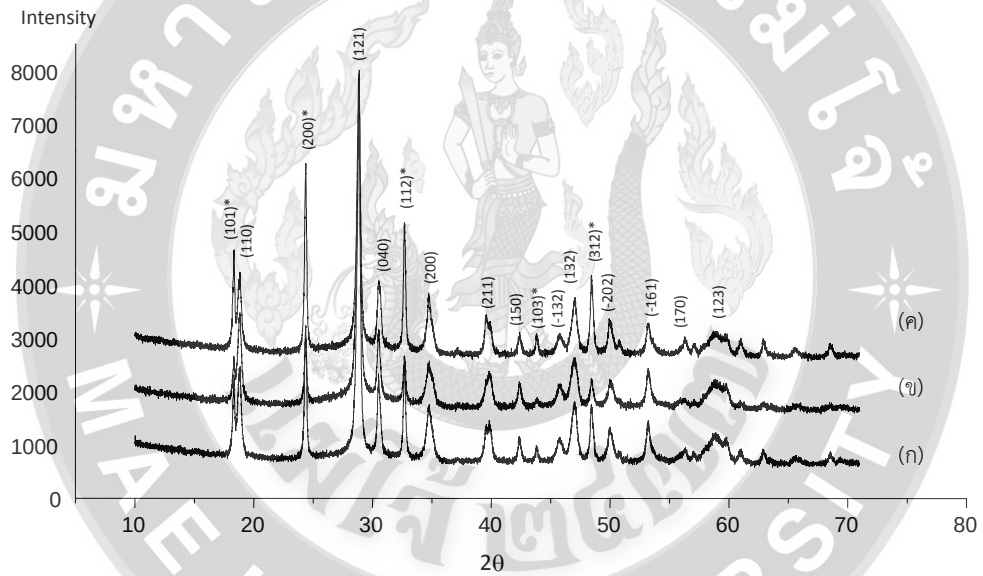



**ภาพที่ 8** รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ซึ่งมีสารตั้งต้นคือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688 [30] และ 14-0133 [31] บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที แสดงดังภาพที่ 8 มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล

จากตารางที่ 4 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล




**ภาพที่ 9** รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

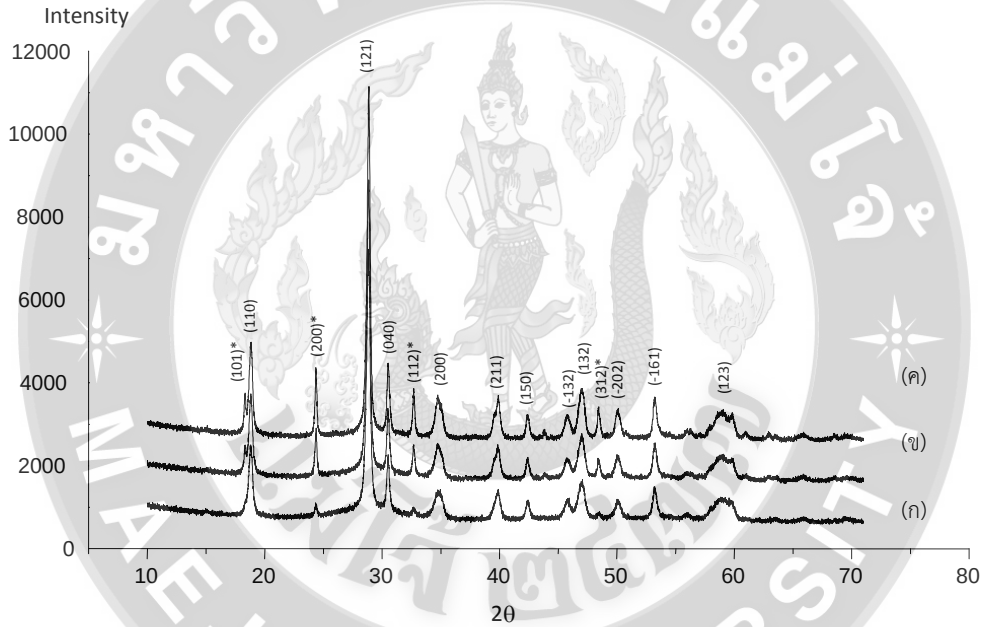
**ตารางที่ 4** สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์

| $BiVO_4$ | Peak counts (cps) | | Phase volume (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | (121) | (200) | Monoclinic | Tetragonal |
| 2 min | 7053 | 3239 | 68.53 | 31.47 |
| 4 min | 6871 | 2043 | 77.08 | 22.92 |
| 6 min | 6009 | 4271 | 58.45 | 41.55 |

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688 [30] และ 14-0133 [31] บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที แสดงดังภาพที่ 10 (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล

จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล




**ภาพที่ 10** รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

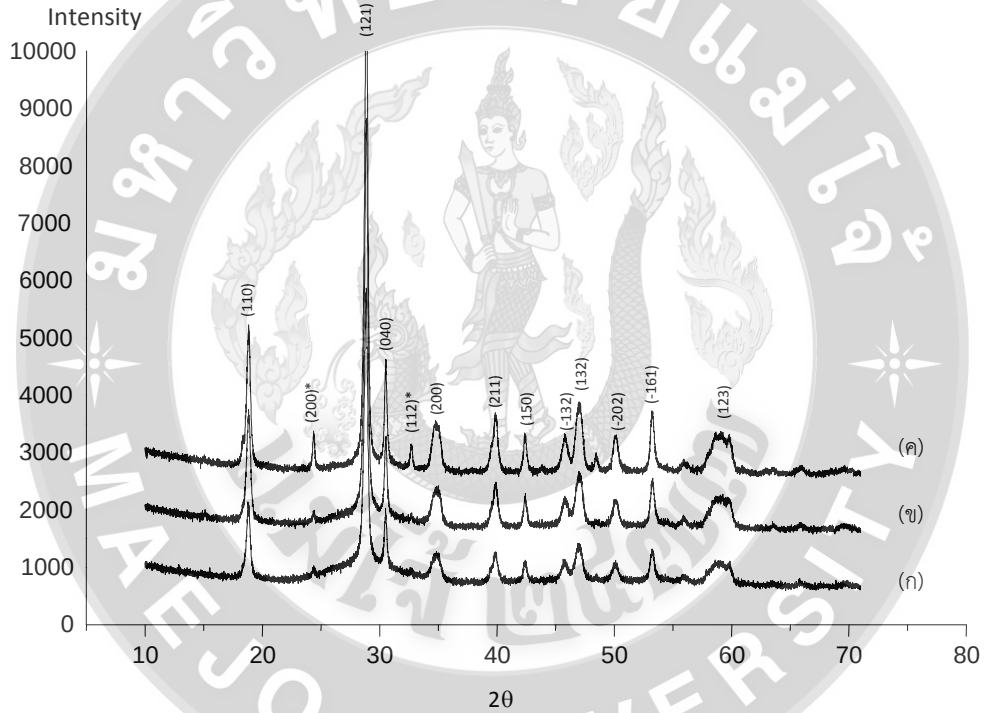
**ตารางที่ 5** สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์

| $BiVO_4$ | Peak counts (cps) | | Phase volume (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | (121) | (200) | Monoclinic | Tetragonal |
| 2 min | 7223 | 1104 | 86.74 | 13.26 |
| 4 min | 7900 | 1907 | 80.55 | 19.45 |
| 6 min | 9146 | 2368 | 79.43 | 20.57 |

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688 [30] และ 14-0133 [31] บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที แสดงดังภาพที่ 11 (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล

จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล




**ภาพที่ 11** รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

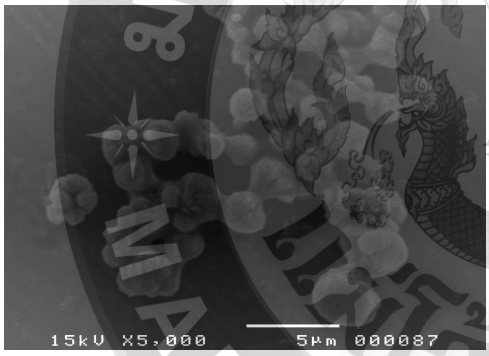
**ตารางที่ 6** สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์

| $BiVO_4$ | Peak counts (cps) | | Phase volume (%) | |
|---|---|---|---|---|
| | (121) | (200) | Monoclinic | Tetragonal |
| 2 min | 5870 | 1023 | 85.16 | 14.84 |
| 4 min | 7833 | 995 | 88.73 | 11.27 |
| 6 min | 9820 | 1338 | 88.00 | 12.00 |

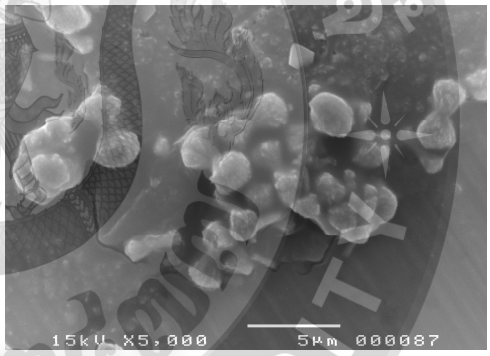
**การหาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด**

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

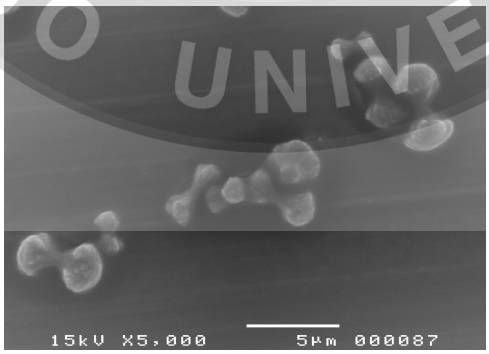
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12 (ก) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.5-4.0 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12 (ข) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 4.0 -4.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12 (ค) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.0-4.5 ไมโครเมตร




(ก)




(ข)

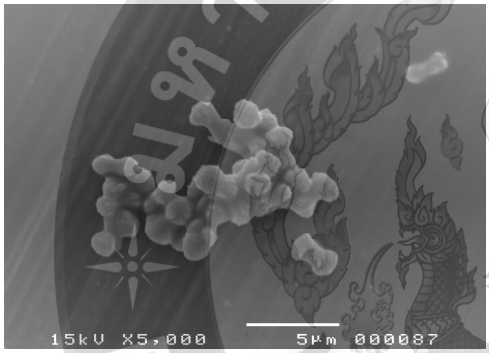



(ค)

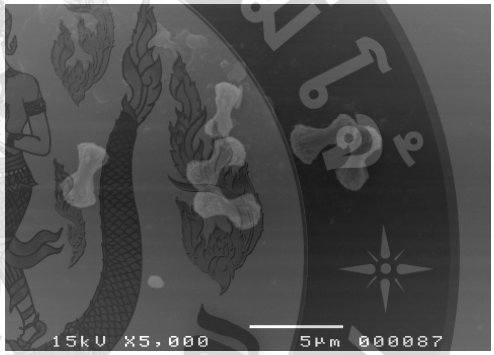
**ภาพที่ 12** SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา(ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

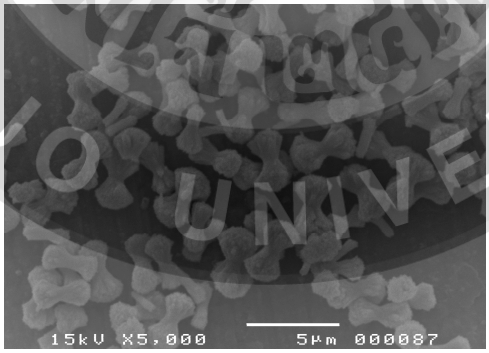
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 (ก) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 (ข) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.0 -3.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 (ค) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.0-3.5 ไมโครเมตร




(ก)




(ข)

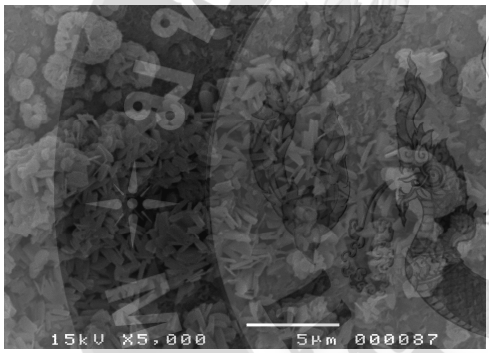



(ค)

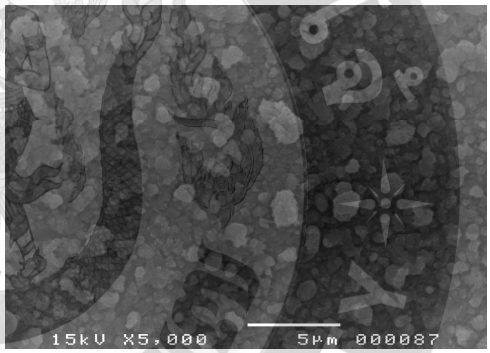
**ภาพที่ 13** SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

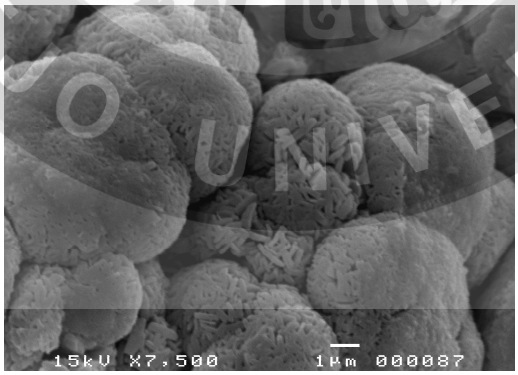
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 14 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 14 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 -2.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที แสดงดังภาพที่ 14 (ค) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.5-3.0 ไมโครเมตร




(ก)




(ข)

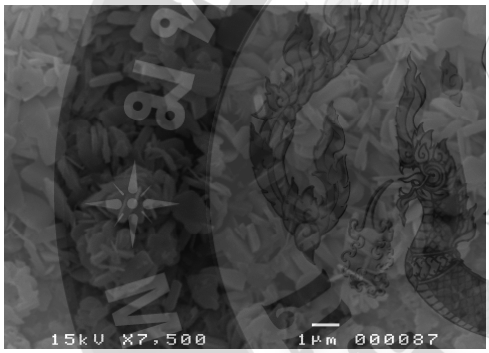



(ค)

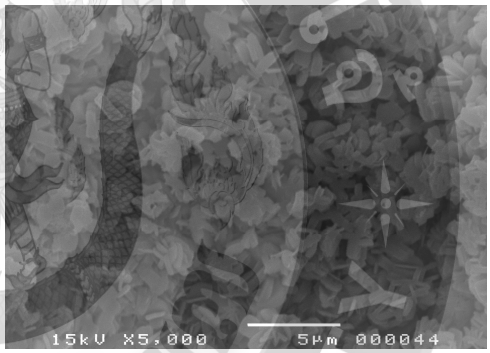
**ภาพที่ 14** SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

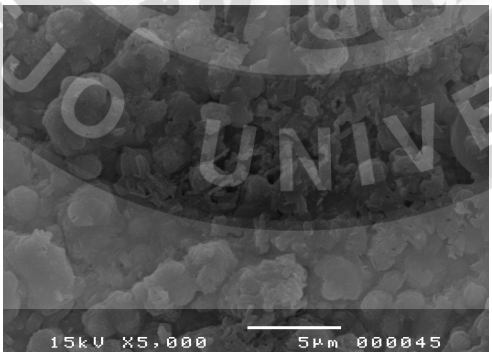
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 15 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 15 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 -2.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที แสดงดังภาพที่ 15 (ค) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.5-3.0ไมโครเมตร




(ก)




(ข)

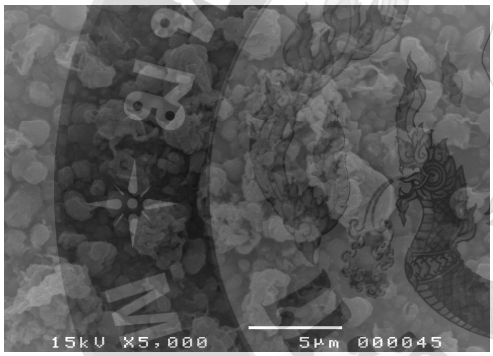



(ค)

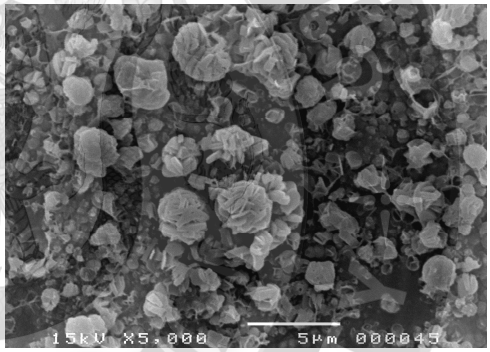
**ภาพที่ 14** SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

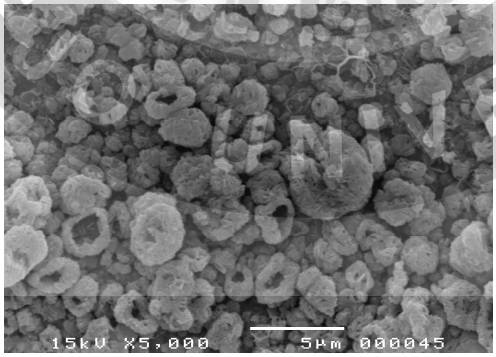
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 16 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 16 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 -2.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที แสดงดังภาพที่ 16 (ค) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 2.5-3.0 ไมโครเมตร




(ก)




(ข)



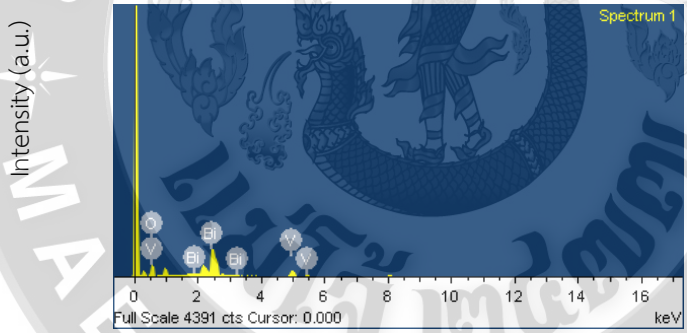

(ค)

**ภาพที่ 16** SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

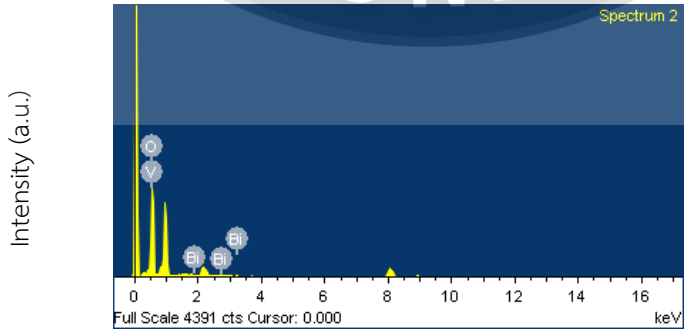
**การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์**

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

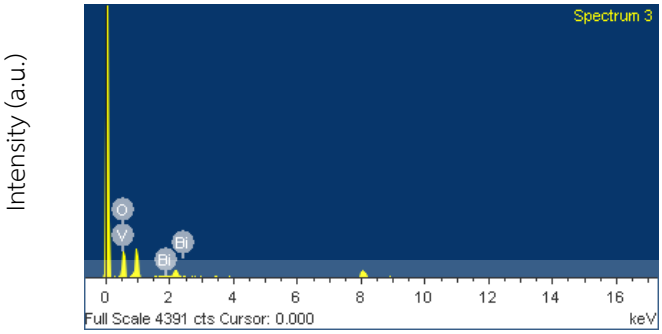
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 17




(ก)




(ข)

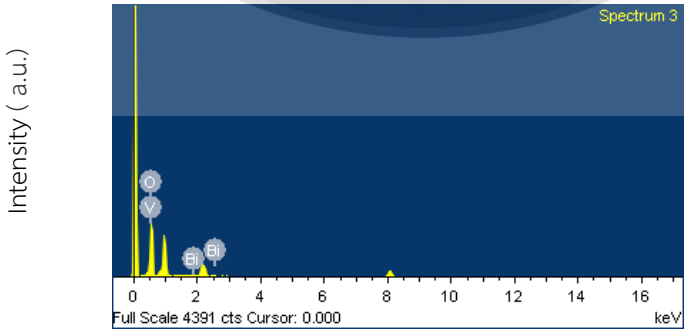



(ค)

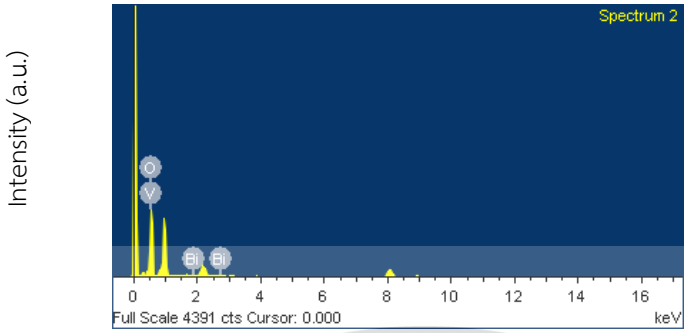
**ภาพที่ 17** EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

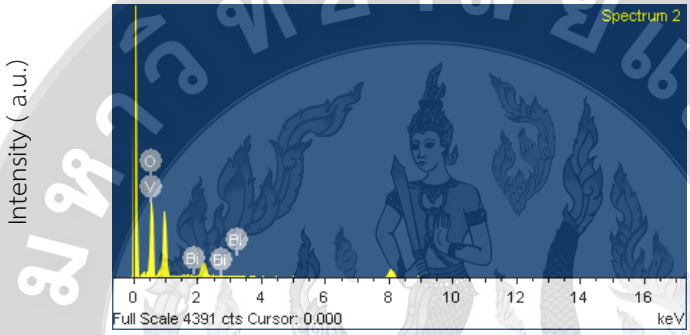
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 18




(ก)




(ข)

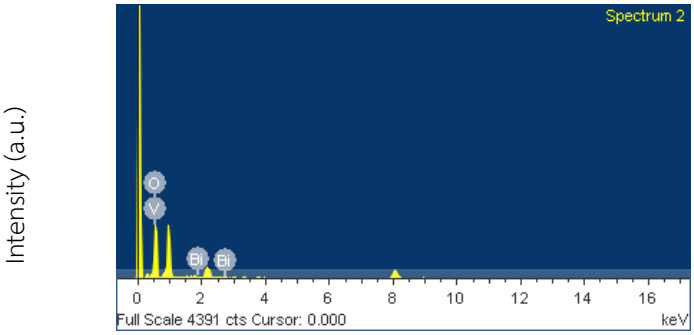



(ค)

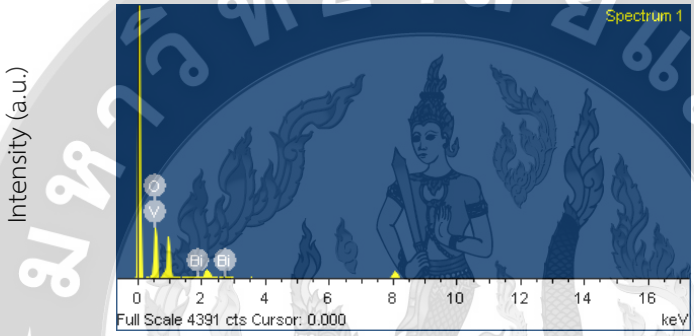
**ภาพที่ 18** EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

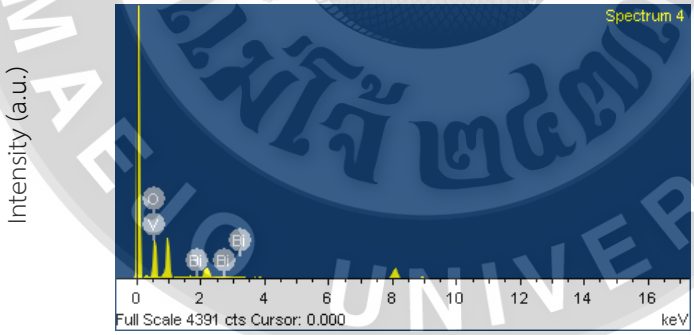
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 19




(ก)




(ข)

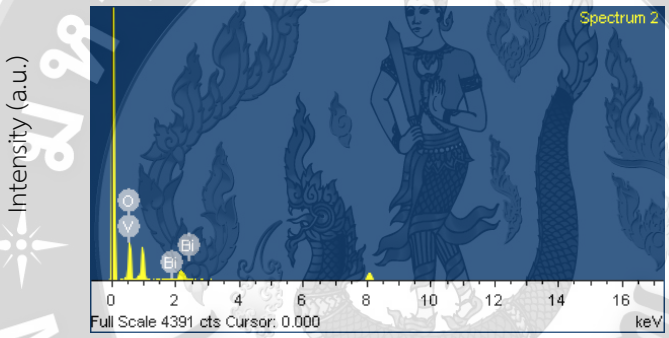



(ค)

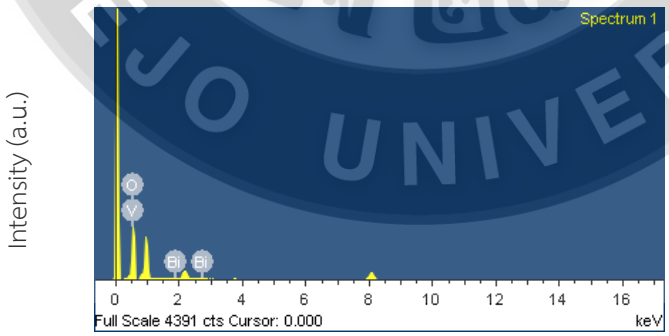
**ภาพที่ 19** EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

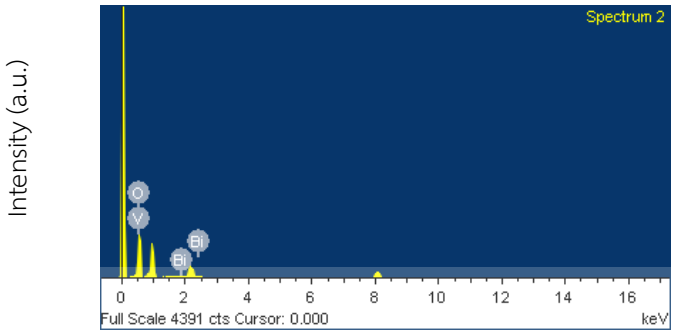
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 20




(ก)




(ข)

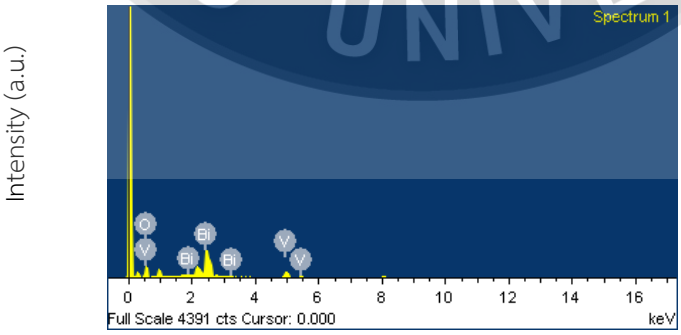



(ค)

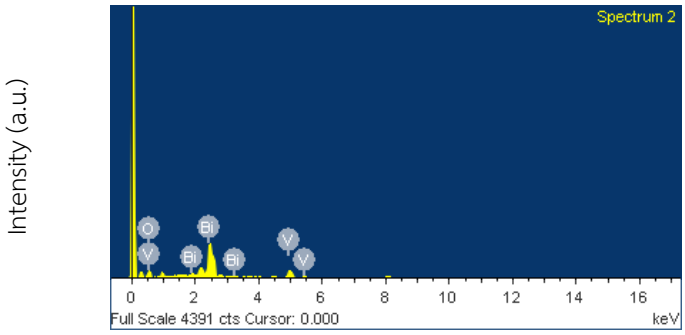
**ภาพที่ 20** EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโทมิเตอร์

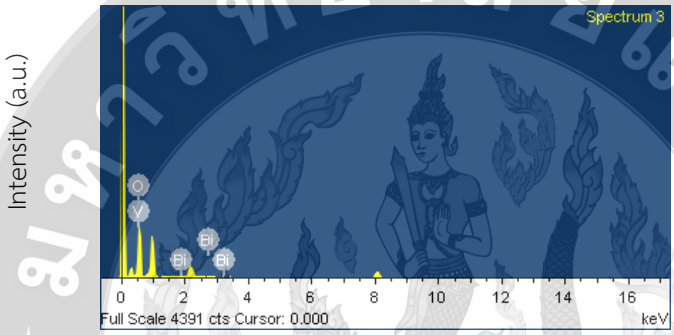
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 21




(ก)




(ข)




(ค)

**ภาพที่ 21** EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

**การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว**

จากการศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ แสดงดังตารางที่ 7

**ตารางที่ 7** ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

| **$BiVO_4$** | **พื้นที่ผิวจำเพาะ ($m^2/g$)** | **BET (C-constant)** |
|---|---|---|
| 100 $^oC$ 2 h | 22.96 | 35.89 |
| 100 $^oC$ 4 h | 20.59 | 50.05 |
| 100 $^oC$ 6 h | 20.70 | 37.21 |
| 200 $^oC$ 2 h | - | - |
| 200 $^oC$ 4 h | - | - |
| 200 $^oC$ 6 h | - | - |

**หมายเหตุ** = ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

จากการศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที

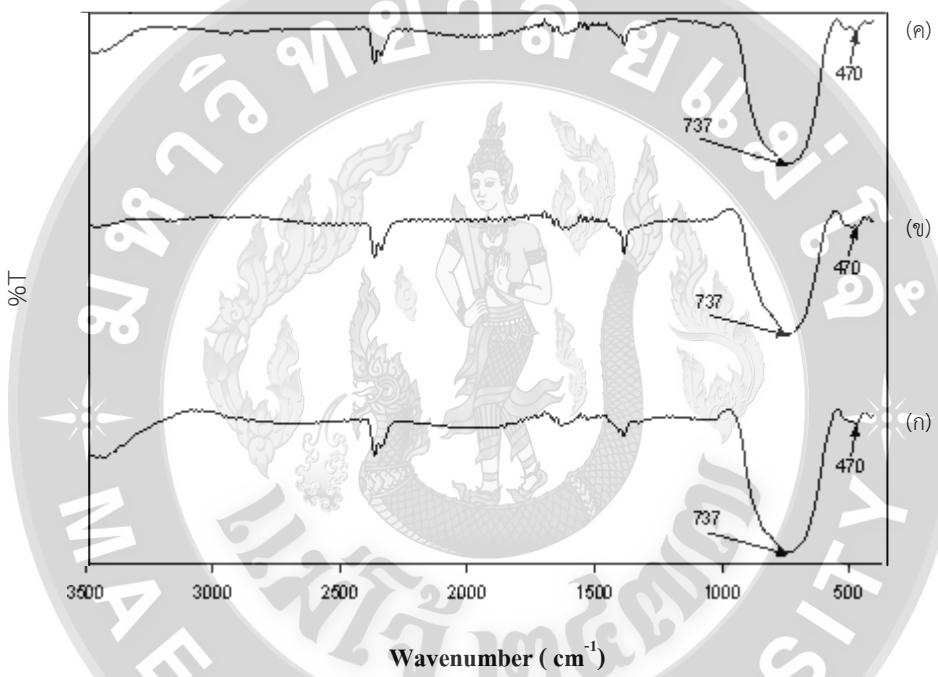
พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ แสดงดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

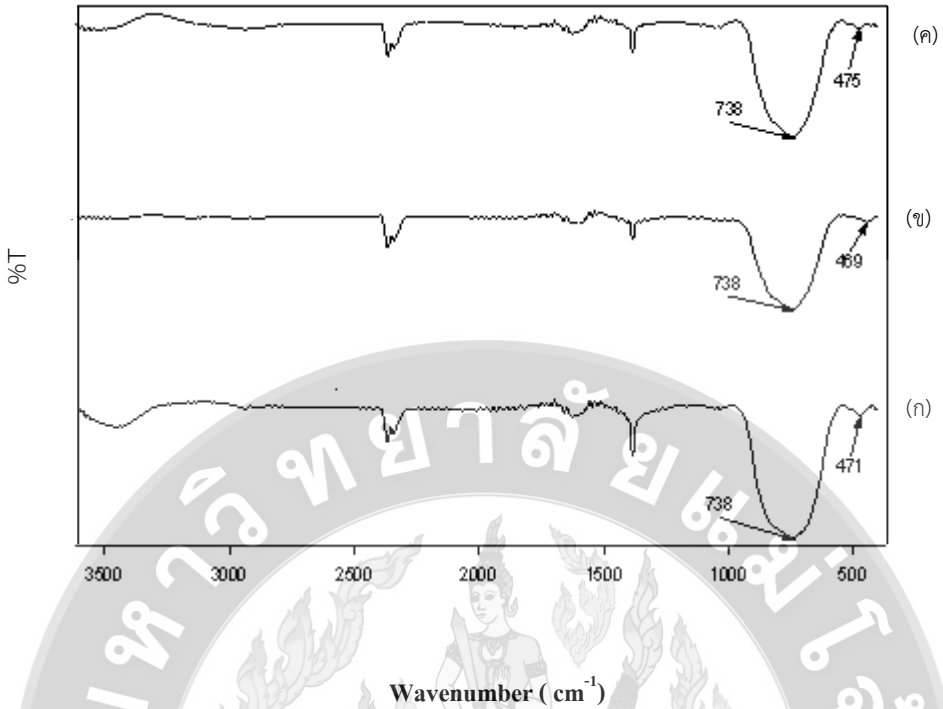
| **$BiVO_4$** | **พื้นที่ผิวจำเพาะ ($m^2/g$)** | **BET (C-constant)** |
|---|---|---|
| 600 Watt 2 min | 19.58 | 205.80 |
| 600 Watt 4 min | 19.86 | 207.70 |
| 600 Watt 6 min | 17.96 | 48.21 |
| 700 Watt 2 min | 21.13 | 154.20 |
| 700 Watt 4 min | 17.72 | 205.10 |
| 700 Watt 6 min | 14.28 | 184.70 |
| 850 Watt 2 min | 23.93 | 199.50 |
| 850 Watt 4 min | 20.80 | 177.40 |
| 850 Watt 6 min | 14.40 | 138.90 |

**การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรมิเตอร์**

จากการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง พบว่า พันธะของ Bi-O เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 737-738 $cm^{-1}$ พันธะของ $VO_4^{3-}$ เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 469-475 $cm^{-1}$ [32] แสดงดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23

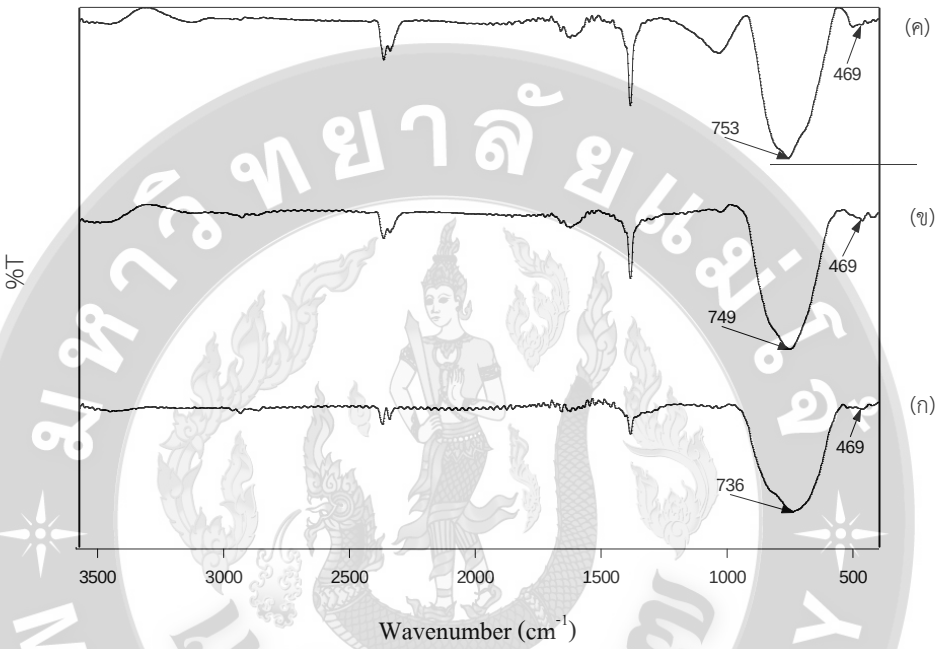



**ภาพที่ 22** FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

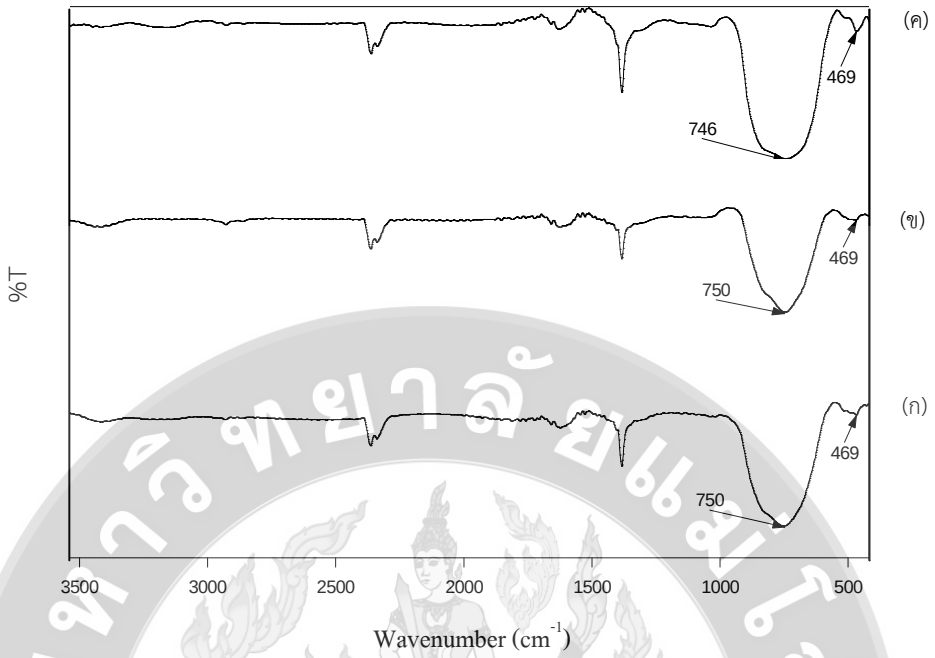



**ภาพที่ 23** FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

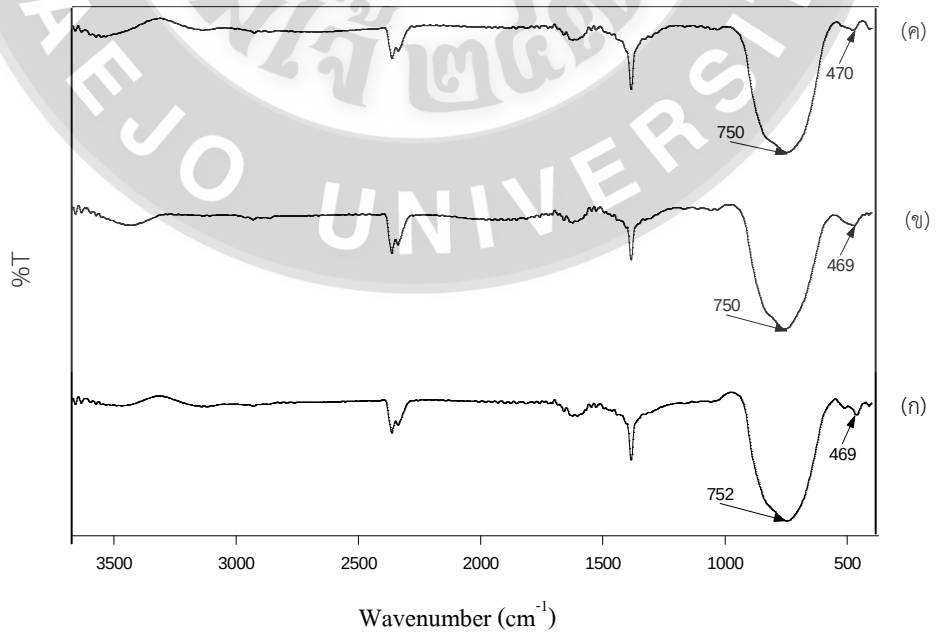
จากการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่า พันธะของ Bi-O เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 736-753 $cm^{-1}$ พันธะของ $VO_4^{3-}$ เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 469-470 $cm^{-1}$ [32] แสดงดังภาพที่ 24-26




**ภาพที่ 24** FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที




**ภาพที่ 25** FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที



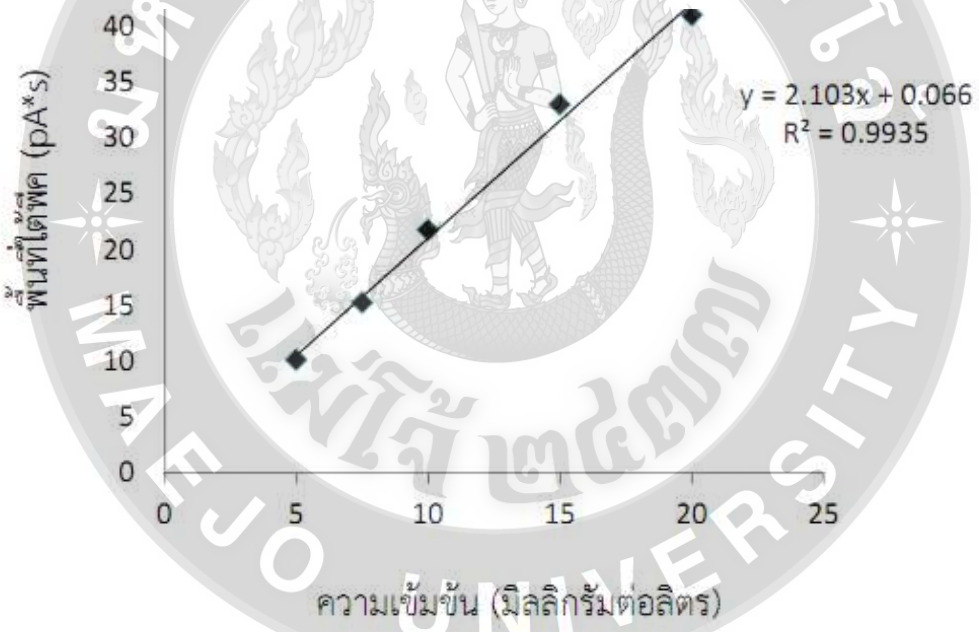

**ภาพที่ 26** FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

**การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน**

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานฟีนอล พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5.0-20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากต้องศึกษาการลดปริมาณลงของสารประกอบฟีนอล จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานในช่วงนี้ขึ้น

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟีนอล พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ดังสมการ y = 2.103x + 0.066 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9935 แสดงดังภาพที่ 27




**ภาพที่ 27** กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟีนอล

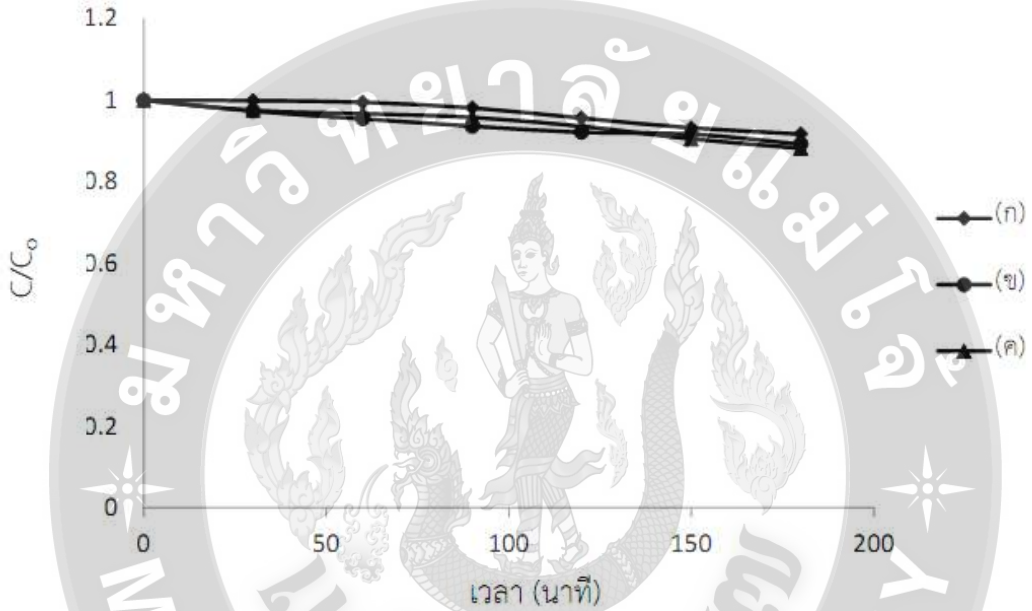
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปิเปตสารละลายฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 28

**ตารางที่ 9** การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

| เวลา (นาที) | การสลายตัวของฟีนอล ($C/C_0$) | | |
|---|---|---|---|
| | Non-$BiVO_4$ | $BiVO_4$ 100 °C | $BiVO_4$ 200 °C |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.99 | 0.97 | 0.97 |
| 60 | 0.99 | 0.95 | 0.97 |
| 90 | 0.98 | 0.94 | 0.96 |
| 120 | 0.96 | 0.92 | 0.94 |
| 150 | 0.93 | 0.92 | 0.90 |
| 180 | 0.92 | 0.89 | 0.88 |
| % สลายตัว | 8.25 | 10.78 | 11.74 |

จากภาพที่ 27 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 200 องศาเซลเซียส ที่ 100 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอล เท่ากับ 11.74, 10.78 และ 8.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ




**ภาพที่ 28** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัธวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

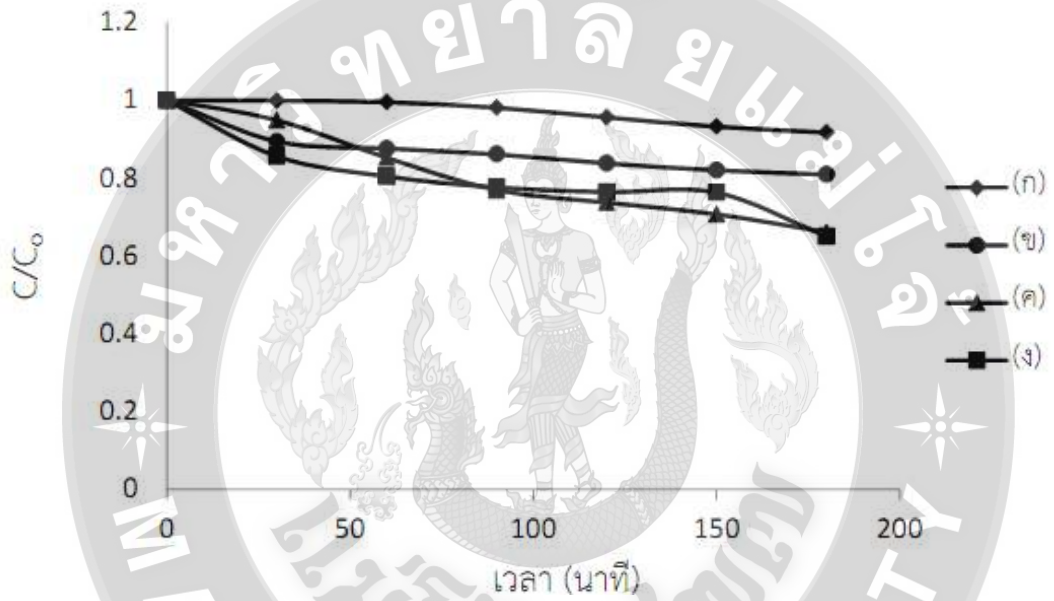
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล และปิเปตสารละลายฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standardครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 29

**ตารางที่ 10** การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

| **เวลา (นาที)** | **การสลายตัวของฟีนอล ($C/C_0$)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Non-$BiVO_4$** | **$BiVO_4$ 600 Watt** | **$BiVO_4$ 700 Watt** | **$BiVO_4$ 850 Watt** |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.99 | 0.89 | 0.95 | 0.86 |
| 60 | 0.99 | 0.88 | 0.85 | 0.80 |
| 90 | 0.98 | 0.86 | 0.77 | 0.78 |
| 120 | 0.96 | 0.84 | 0.74 | 0.76 |
| 150 | 0.93 | 0.82 | 0.71 | 0.76 |
| 180 | 0.92 | 0.81 | 0.66 | 0.65 |
| % สลายตัว | 8.25 | 19.08 | 33.91 | 35.00 |

จากภาพที่ 29 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอล เท่ากับ 35.00, 33.91, 32.58 และ 19.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



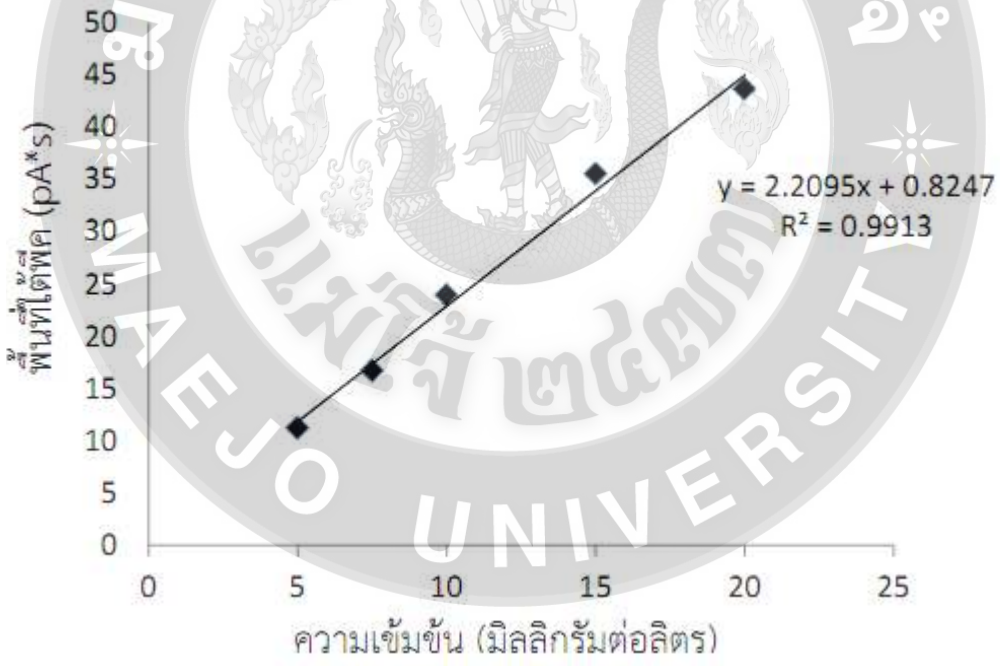

**ภาพที่ 29** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัธวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

**การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน**

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5.0-20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากต้องศึกษาการลดปริมาณลงของสารประกอบ 2- คลอโรฟีนอล จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานในช่วงนี้ขึ้น

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ดังสมการ $y = 2.2095x + 0.8247$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9913 แสดงดังภาพที่ 30




**ภาพที่ 30** กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล

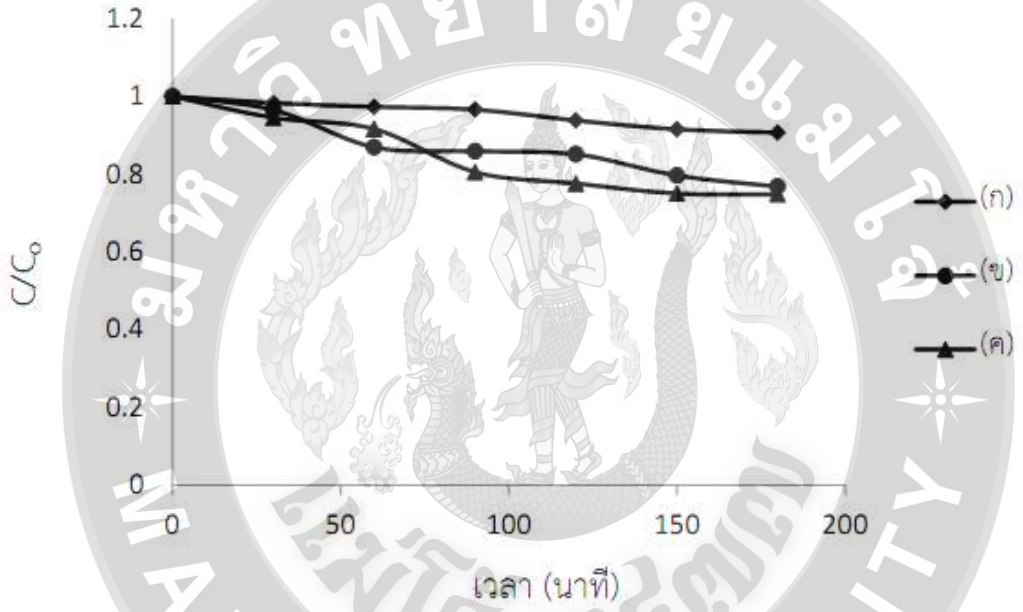
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล และปิเปตสารละลาย 2-คลอโรฟีนอล มาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 11 และภาพที่ 31

**ตารางที่ 11** การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

| เวลา (นาที) | การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล ($C/C_0$) | | |
|---|---|---|---|
| | Non-$BiVO_4$ | $BiVO_4$ 100 °C | $BiVO_4$ 200 °C |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.98 | 0.96 | 0.94 |
| 60 | 0.97 | 0.87 | 0.92 |
| 90 | 0.97 | 0.86 | 0.80 |
| 120 | 0.94 | 0.85 | 0.78 |
| 150 | 0.91 | 0.80 | 0.75 |
| 180 | 0.91 | 0.77 | 0.75 |
| % สลายตัว | 9.33 | 23.21 | 25.18 |

จากภาพที่ 31 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 200 องศาเซลเซียส ที่ 100 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล เท่ากับ 25.18 และ 23.21 และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ




**ภาพที่ 31** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

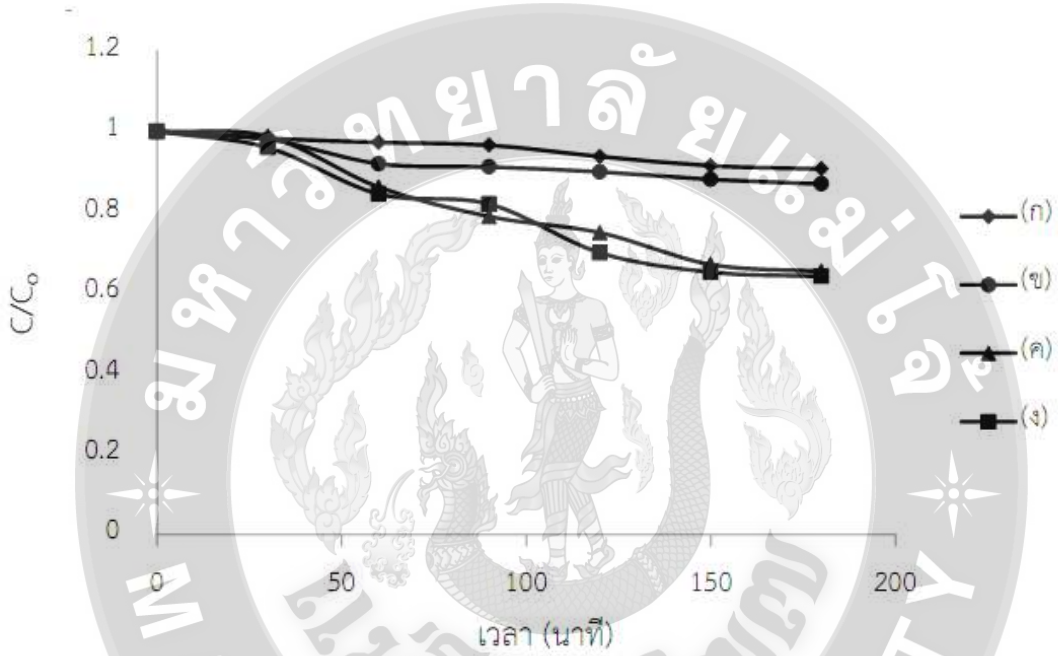
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปิเปตสารละลาย 2-คลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standardครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 32

**ตารางที่ 12** การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

| เวลา (นาที) | การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล ($C/C_0$) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Non-$BiVO_4$ | $BiVO_4$ 600 Watt | $BiVO_4$ 700 Watt | $BiVO_4$ 850 Watt |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.96 |
| 60 | 0.97 | 0.92 | 0.86 | 0.84 |
| 90 | 0.97 | 0.91 | 0.79 | 0.82 |
| 120 | 0.94 | 0.90 | 0.75 | 0.70 |
| 150 | 0.91 | 0.88 | 0.67 | 0.65 |
| 180 | 0.91 | 0.87 | 0.65 | 0.64 |
| % สลายตัว | 9.33 | 13.00 | 34.66 | 35.87 |

จากภาพที่ 32 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล เท่ากับ 35.87, 34.66, 13.00 และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



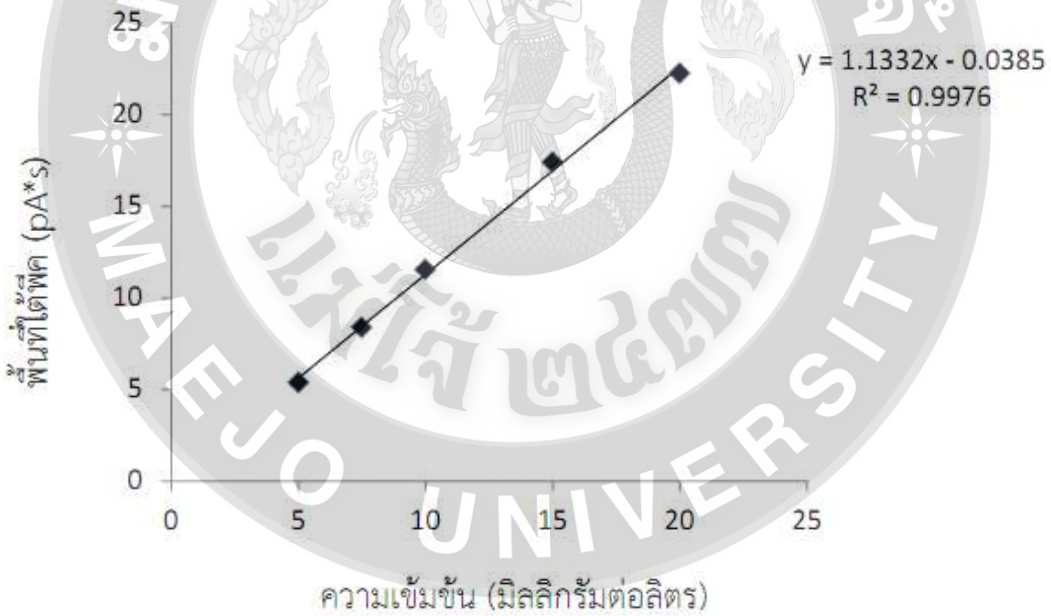

**ภาพที่ 32** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัธวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) 850 วัตต์

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

**การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน**

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดคลอโรฟีนอล พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5.0-20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากต้องศึกษาการลดปริมาณลงของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานในช่วงนี้ขึ้น

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดคลอโรฟีนอล พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ดังสมการ y = 1.1332x - 0.0385 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9976 แสดงดังภาพที่ 33




**ภาพที่ 33** กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดคลอโรฟีนอล

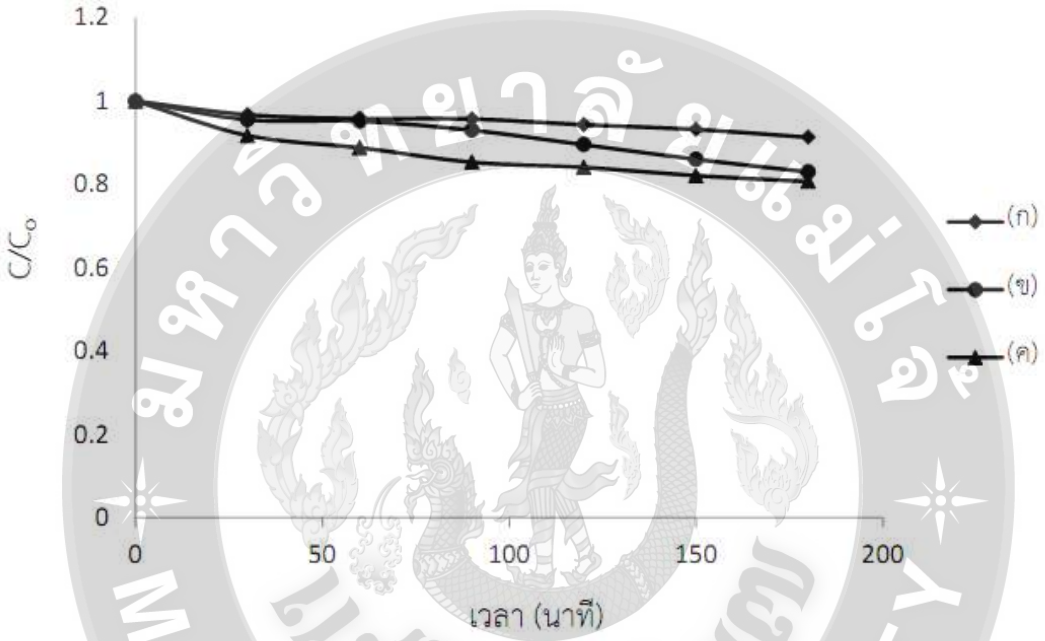
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล และปิเปตสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standardครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 13 และภาพที่ 34

**ตารางที่ 13** การสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

| **เวลา (นาที)** | **การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล ($C/C_0$)** | | |
|---|---|---|---|
| | **Non-$BiVO_4$** | **$BiVO_4$ 100 °C** | **$BiVO_4$ 200 °C** |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.97 | 0.96 | 0.92 |
| 60 | 0.96 | 0.95 | 0.89 |
| 90 | 0.96 | 0.93 | 0.85 |
| 120 | 0.94 | 0.89 | 0.84 |
| 150 | 0.93 | 0.86 | 0.82 |
| 180 | 0.91 | 0.83 | 0.81 |
| % สลายตัว | 8.73 | 16.98 | 19.29 |

จากภาพที่ 34 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตมาตรฐาน ผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 200 องศาเซลเซียส และที่ 100 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เท่ากับ 19.29, 16.98 และ 8.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ




**ภาพที่ 34** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัธวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

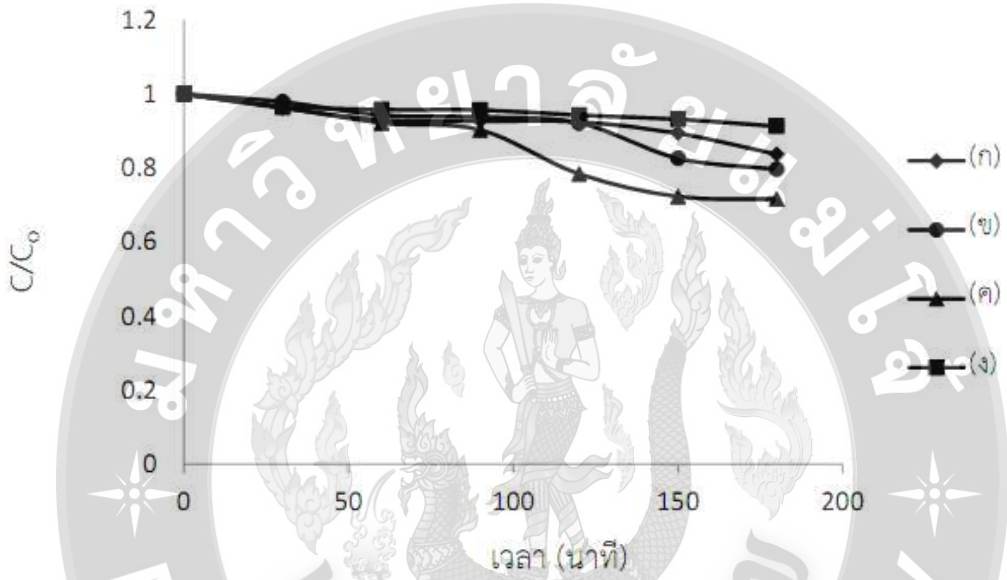
**การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปิเปตสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standardครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 35

**ตารางที่ 14** การสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ

| **เวลา (นาที)** | **การสลายตัวของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ($C/C_0$)** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Non-$BiVO_4$** | **$BiVO_4$ 600 Watt** | **$BiVO_4$ 700 Watt** | **$BiVO_4$ 850 Watt** |
| 0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 30 | 0.97 | 0.96 | 0.98 | 0.96 |
| 60 | 0.96 | 0.93 | 0.94 | 0.92 |
| 90 | 0.96 | 0.93 | 0.94 | 0.90 |
| 120 | 0.94 | 0.92 | 0.92 | 0.78 |
| 150 | 0.93 | 0.89 | 0.82 | 0.72 |
| 180 | 0.91 | 0.84 | 0.80 | 0.72 |
| % สลายตัว | 8.73 | 16.27 | 20.26 | 28.41 |

จากภาพที่ 35 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เท่ากับ 28.41, 20.26, 16.27 และ 8.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ




**ภาพที่ 35** กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $C/C_0$ และเวลาของกระบวนการปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัธวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์

**การทดสอบหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

การศึกษาหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในน้ำตัวอย่างธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง ได้แก่ แปลงผัก นาข้าว และคลองชลประทาน โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำธรรมชาติในแต่ละแหล่งมาปริมาตร 500 มิลลิลิตร แล้วนำมากรองเพื่อกำจัดตะกอนและสิ่งปนเปื้อน จากนั้นตวงตัวอย่างน้ำด้วยกระบอกตวงใส่ในกรวยแยก ล้างกระบอกตวงด้วย 2-โพรพานอล ใส่รวมในกรวยแยก เขย่า 2 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น 10 นาที ทำการกรองด้วยกรวยกรอง โดยเติมโซเดียมซัลเฟสแอนไฮดรัส ลงในกรวยกรอง เพื่อดูดน้ำออก กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์

จากการทดสอบหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) พบว่า ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำทั้ง 3 แหล่ง ไม่พบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เนื่องจากในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 3 แหล่ง อาจมีปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ที่น้อยกว่าระดับความเข้มข้นมิลลิกรัมต่อลิตร จึงทำให้ตรวจวัดไม่พบปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ

# วิจารณ์ผลการวิจัย

**การตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์**

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDSหมายเลข 14-0688[30]

จากงานวิจัยของ Jing Bing Liu และคณะ[15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรท วานาเดียมออกไซด์ ($V_2O_5$) และโซเดียมวานาเดต ($NaVO_3$) สารละลายถูกผสมด้วยกันตามอัตราส่วน Bi/V เป็น 1 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 2.0 และ 5.0 ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับค่า pH โดย 1M สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ7 แล้วผสมในภาชนะที่เป็น Teflon-lined stainless autoclave ปริมาตร 50 มิลลิลิตรและให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อนำผงบิสมัธวานาเดต ทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ พบว่า มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDSหมายเลข 14-0688[30] และ 14-0133[31]

จากผลการทดลอง การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของโมโนคลินิกและเตตระโกนอล พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผงบิสมัธวานาเดตมีส่วนประกอบของเฟสโมโนคลินิกลดลง

**การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)**

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ ซึ่งที่เวลา 2 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.5-4.0 ไมโครเมตร ที่เวลา 4 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 4.0-4.5 ไมโครเมตร และที่เวลา 6 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 4.0-4.5 ไมโครเมตร

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ ซึ่งที่เวลา 2 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร ที่เวลา 4 ชั่วโมง ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.0-3.5 ไมโครเมตร และที่เวลา 6 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.0-3.5 ไมโครเมตร

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งที่เวลา 2 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0 ไมโครเมตร ที่เวลา 4 นาที ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5 ไมโครเมตร และที่เวลา 6 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งที่เวลา 2 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5 ไมโครเมตร ที่เวลา 4 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5ไมโครเมตร และที่เวลา 6 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งที่เวลา 2 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0 ไมโครเมตร ที่เวลา 4 นาที ขนาดอนุภาคใหญ่กว่าและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5 ไมโครเมตร และที่เวลา 6 นาที มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร

จากผลการวิจัย พบว่า ขนาดอนุภาคของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ ทั้ง 2 วิธี ดังกล่าว มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็กกว่าอนุภาคของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล [24]

**การวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)**

ผงบิสมัธวานาเดคที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ

1:1 ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที และที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่าผงบิสมัธวานาเดตมีองค์ประกอบของธาตุ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัธ $M_\alpha$ เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_l$ เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L_\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L_\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K_\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K_\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ Pookmanee และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาลักษณะของผงบิสมัธวานาเดต ที่สังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารตั้งต้น คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต โดยมีอัตราส่วนโมลเป็น 1:1 นำสารละลายมาผสมกันแล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งได้ pH = 7 จากนั้นให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2, 4 และ6 ชั่วโมง ทำการหาองค์ประกอบของบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวิเคราะห์หาพลังงานเอ็กซ์เรย์ ทางสเปกโทรสโคปี พบว่าผงบิสมัธวานาเดต ประกอบไปด้วย บิสมัธวานาเดียมและออกซิเจน ตามลำดับ

**การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว**

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 22.96, 20.59 และ 20.70 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 19.58, 19.86 และ 17.96 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 21.13, 17.72 และ 14.28 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 23.93, 20.80 และ 14.40 $m^2/g$ ตามลำดับ

**การวิเคราะห์สเปกตรัม เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)**

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนทะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และที่กำลัง 600, 700, 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ตามลำดับ พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันของพันธะ มีหมู่ฟังก์ชันของพันธะ $VO_4^{3-}$ stretching และพันธะ Bi-O bending ของ $BiVO_4$

จากงานวิจัยของ M. Gotić และคณะ [32] ได้การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FTIR พบว่า ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้มีการสั่นของพันธะ $VO_4^{3-}$ stretching ในช่วงคลื่น 474 ต่อเซนติเมตร และ 809-830 ต่อเซนติเมตร มีการสั่นของพันธะ V-O stretching ในช่วงคลื่น 729-743 ต่อเซนติเมตร และมีการสั่นของพันธะ Bi-O bending ในช่วงคลื่น 623-650 ต่อเซนติเมตร

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยการเตรียมสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม ซึ่งจะกระจายตัวในสารละลาย แล้วทำการกวนสารละลายในอัตราเร็วคงที่ ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล จำนวน 1 หลอด และทำการเก็บสารละลายทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้น

นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลลดลง

จะเห็นว่าในแต่ละช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น ($C/C_0$) ของแต่ละปริมาณบิสมัธวานาเดตที่ใช้ มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลง

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์ ที่ 200 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด และพบว่า ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียสเมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

จากงานวิจัยของ Zhijie Zhang และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของโรดามีนบี (Rhodamine B, RhB) และฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้จากวิธีการเผาไหม้สารละลาย (Solution combustion) พบว่า ปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิสต์ของผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบอะโรมาติก และการลดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์ (TOC) และสามารถย่อยสลายฟีนอลได้ 92.40 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 150 นาที

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยการเตรียมสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 600, 700, 850 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม ซึ่งจะกระจายตัวในสารละลาย แล้วทำการกวนสารละลายในอัตราเร็วคงที่ ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล จำนวน 1 หลอด และทำการเก็บสารละลายทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลลดลง

จะเห็นว่าในแต่ละช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น ($C/C_0$) ของแต่ละปริมาณบิสมัธวานาเดตที่ใช้ มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลง

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ พบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์ ที่กำลัง 700 วัตต์ มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กสุด ทำให้สามารถทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ได้ดีที่สุด และพบว่า ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

จากงานวิจัยของ Zhijie Zhang และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของโรดามีนบี (Rhodamine B, RhB) และฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้จากวิธีการเผาไหม้สารละลาย (Solution combustion) พบว่า ปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิสต์ของผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบอะโรมาติก และการลดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์ (TOC) และสามารถย่อยสลายฟีนอลได้ 92.40 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 150 นาที

**การทดสอบหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

จากการหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในน้ำตัวอย่างธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง ได้แก่ แปลงผัก นาข้าว และคลองชลประทาน โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) พบว่า ตรวจวัดไม่พบปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 3 แหล่ง

## สรุปผลการวิจัย

**การตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์**

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล

**การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)**

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-4.5 ไมโครเมตร

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600-850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีช่วงขนาดอนุภาค 2.5-3.0 ไมโครเมตร

**การวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)**

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600-850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีองค์ประกอบของธาตุ บิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน

**การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว**

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 22.96, 20.59 และ 20.70 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 19.58, 19.86 และ 17.96 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 21.13, 17.72 และ 14.28 $m^2/g$ ตามลำดับ

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ 23.93, 20.80 และ 14.40 $m^2/g$ ตามลำดับ

**การวิเคราะห์สเปกตรัม เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)**

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700, 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ตามลำดับ พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันของพันธะ มีหมู่ฟังก์ชันของพันธะ $VO_4^{3-}$ stretching และพันธะ Bi-O bending ของ $BiVO_4$

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด และพบว่า บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

**การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที พบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์ ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด เนื่องจากมีขนาดอนุภาคเล็กสุด ทำให้สามารถทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ได้ดีที่สุด และพบว่า บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี

ไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

**การทดสอบหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)**

จากการหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในน้ำตัวอย่างธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง ได้แก่ แปลงผัก นาข้าว และคลองชลประทาน โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) พบว่า ตรวจวัดไม่พบปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 3 แหล่ง

# เอกสารอ้างอิง


[1] สมทิพย์ ด่านธีรวนิชย์ และคณะ, *คุณภาพน้ำและการจัดการ (Water Quality and Management)*, โรงพิมพ์จอยพริ้นท์; สงขลา, 2553, หน้า188-189.

[2] อดิศร จตุรพิรีย์, *การสลายตัวด้วยโฟโตแคตาไลติกของสารประกอบครอโรฟีนอล โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบเทที่มีการหมุนเวียน*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.

[3] Verschueren, K., Handbook of Environtmental Data Organic Chemistry. 3rd ed., Nashville:Thomson Publishing, 1996.

[4] ฟีนอล. http://wttlite.nist.gov/cgibin/openindex.cgi?eid=108952. (accessed Feb 16, 2011).

[5] Phenol. http://www.summacheeva.org/index_thaitox_phenol.htm. (accessed Feb 16, 2011).

[6] 2-chlorophenol. http://en.wikipedia.org/wiki/2-Chlorophenol. (accessed Feb 16, 2011).

[7] 2,4-dichlorophenol. http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=275. (accessed Dec 12, 2011).

[8] Kudo, A., Omori, K. and Kato, H., A novel aquenous process for preparation of crystal form controlled and highly crystalline $BiVO_4$ powder from layered vanadates at room temperature and photophysical properties. *J. Chem. Soc.,* 1999, **121**, 11459-11467.

[9] Tokunaga, S., Kato, H. and Kudo, A., Selective preparation of monoclinic and tetragonol $BiVO_4$ with scheelite structure and their photocatalytic properties. *Chem. Mater*., 2001, **13**, 4624-4628.

[10] $BiVO_4$. http://jsmchem.co.kr/sds/MSDS-YELLOW.doc. (accessed Feb 16, 2011).

[11] Bhattacharya, A. K., Mallick, K. and Hartridge, A., Phase transition in $BiVO_4$. *Mater. Lett.,* 1997, **30**, 7-13.

[12] Lin, A. R., Choh, S. H., and Jang, M. S., Domain structure of ferroelastic $BiVO_4$ studied by 209Bi NMR. *Solid. State Commun.,* 1996, **8**, 699-702.

[13] Wood, P. and Glasser, F. P., Preparation and properties of pigmentary grade $BiVO_4$ precipitated from aqueous solution. *Ceram. Int.,* 2004, **30**, 875-882.

[14] Hirota, K., Komatsu, G. and Yamashita, M., Formation, characterization and sintering of alkoxy-derived bismuth vanadate. *Mater. Res. Bull.,* 1992, **7**, 823-830.

[15] Liu, J. B., Wang, H., Wang, H. and Yan, H., Hydrothermal preparation of $BiVO_4$ powder. *Mat. Sci. Eng. B-Solid.,* 2003, **104**, 36-39.

[16] Ren, L., Jin, L., Wang, J. -B., Yang, F., Qiu, M. -Q. and Yu, Y., Template-free synthesis of $BiVO_4$ nanostructures: I. Nanotubes with hexagonal cross sections by oriented attachment and their photocatalytic property for water splitting under visible light. *Nanotechnology*, 2009, **20**(11), 5603.

[17] Zhang, H. M., Liu, J. B., Wang, H., Zhang, W. X. and Yan, H., Rapid microwave-assisted synthesis of phase controlled $BiVO_4$ nanocrystals and research on photocatalytic properties under visible light irradiation. *J. Nanopart. Res.,* 2008,10(5), 767-774.

[18] กันยาพร ไชยวงศ์ ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ และ ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์. การใช้กระบวนการแสงอาทิตย์– โฟโตแคตาไลติก สำหรับปฏิกรณ์แบบขั้นบันไดในการบำบัดสารเมทิลีนบลูในน้ำเสีย. http://*www.aseanenergy.info/scripts/count_article.asp?Article_code.* (accessed Feb 18, 2011)

[19] Photocatalytic. http://www.tipe.com.cn/library/kb2501.htm. (accessed Feb 18, 2011)

[20] กระบวนการ Photocatalytic. http://www.sichon.wu.ac.th/file/envi-shh-20090110-112240-pwrqR.pdf. (accessed Feb 18, 2011)

[21] Mechanism of photocatalysis. http://www.tipe.com.cn/library/kb2502.htm. (accessed Feb 18, 2011)

[22] เสรีย์ ตู้ประกาย. พื้นฐานกระบวนการโฟโตแคตตาไลซิส. http:// www. eng.ru.ac.th/ envi/aj/ EVE410/ photocatalytic.pdf. (accessed Feb 18, 2011)

[23] Zhou, L., Wang, W., Liu, S., Zhang, L., Xu, H. and Zhu, W., A sonochemical route to visible-light-driven high-activity $BiVO_4$ photocatalyst. *J. Mol. Catal. A: Chem.*, 2006, **252**, 120-124.

[24] Pookmanee, P., Pingmuang, K., Phanichphant, S. and Kangwansupamonkon, W., Characterization of bismuth vanadate powder synthesized by a hydrothermal method. *J. Micro. Soc. Thai.,* 2009, **32(1)**, 95-98.

[25] Pookmanee, P., Kruefu, V., Ninsonti, H., Pingmuang, K. and Phanichphant, S., Degradation of phenol by titanium dioxide powders. *NU Sci. J.*, 2009, **6(S1)**, 8-14.

[26] Lin, C. -F., Wu, C. -H. and Onn, Z. -N., Degradation of 4-chlorophenol in $TiO_2$, $WO_3$, $SnO_2$, $TiO_2/WO_3$ and $TiO_2/SnO_2$ systems. *J. Hazard. Mater.*, 2008, **154**, 1033-1039.

[27] Kohtani, S., Koshiko, M., Kudo, A., Tokumura, K., Ishigaki, Y., Toriba, A., Hayakawa, K. and Nakagaki, R., Photodegradation of 4-alkylphenols using $BiVO_4$ photocatalyst under irradiation with visible light from a solar simulator. *App. Catal. B-Eniron*., 2003, **46**, 573-586.

[28] Kohtani, S., Hiro, J., Yamamoto, N., Kudo, A., Tokumura, K. and Nakagaki, R., Adsorptive and photocatalytic properties of Ag-loaded $BiVO_4$ on the degradation of 4-n-alkylphenols under visible light irradaiation. *Catal. Commun*., 2005, **6**, 185-189.

[29] Xie, B., Zhang, H., Cai, P., Qiu, R. and Xiong, Y., Simultaneous photocatalytic reduction of Cr(VI) and oxidation of phenol over monoclinic $BiVO_4$ under visible light irradiation. *Chemosphere*, 2006, **63**, 956-963.

[30] Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Powder Diffraction File, Card No. 14-0688, Swarthmore, PA.

[31] Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Powder Diffraction File, Card No. 14-0133, Swarthmore, PA.

[32] Gotić, M., Music, S., Ivanda, M., Soufek, S. and Popovic, S., Synthesis and characterization of bismuth (III) vanadate. *J. Mol. Struct.,* 2005, **744**, 535-540.

[33] Zhang, Z., Wang, W., Shang, M. and Yin, W., Photocatalytic drgradation of rhodamine B and phenol by solution combustion synthesized $BiVO_4$ photocatalyst. *Catal. Commun.,* 2010, **11**, 982-986.