



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง ปฏิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดย
วิธีโซลโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ 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
ผู้ร่วมโครงการ

ภูสิต ปุณณี
จิราภรณ์ กิตติกุล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/ก.ย./2556

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ปฏิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลโวเทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ 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 นุศลากร สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งช่วยประสานงานในด้านเอกสารงานราชการ ในการติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๓
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	12
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	12
การตรวจเอกสาร	13
อุปกรณ์และวิธีการ	15
ผลการวิจัย	24
วิจารณ์ผลการวิจัย	63
สรุปผลการวิจัย	69
เอกสารอ้างอิง	72

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	15
ตารางที่ 2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	16
ตารางที่ 3	สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์	22
ตารางที่ 4	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเดตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์	26
ตารางที่ 5	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเดตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์	27
ตารางที่ 6	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเดตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์	28
ตารางที่ 7	ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล	41
ตารางที่ 8	ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ	42
ตารางที่ 9	การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล	48
ตารางที่ 10	การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ	50
ตารางที่ 11	การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล	53
ตารางที่ 12	การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ	55
ตารางที่ 13	การสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล	58
ตารางที่ 14	การสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ	60

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างของฟีนอล	5
ภาพที่ 2 โครงสร้างของ 2-คลอโรฟีนอล	6
ภาพที่ 3 โครงสร้างของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล	7
ภาพที่ 4 โครงสร้างโมโนคลินิก แบบเฟอร์กูโซไนท์ ของบิสมัทวานาเดต	8
ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์	10
ภาพที่ 6 กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์	11
ภาพที่ 7 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	24
ภาพที่ 8 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	25
ภาพที่ 9 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	26
ภาพที่ 10 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	27
ภาพที่ 11 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	28
ภาพที่ 12 SEM ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	29
ภาพที่ 13 SEM ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	30
ภาพที่ 14 SEM ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	31
ภาพที่ 15 SEM ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	32
ภาพที่ 16 SEM ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี ไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	33

ภาพที่ 17	EDS ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	35
ภาพที่ 18	EDS ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	36
ภาพที่ 19	EDS ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	37
ภาพที่ 20	EDS ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	39
ภาพที่ 21	EDS ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	40
ภาพที่ 22	FTIR ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	43
ภาพที่ 23	FTIR ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง	44
ภาพที่ 24	FTIR ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	45
ภาพที่ 25	FTIR ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	46
ภาพที่ 26	FTIR ของผงบิสมัทธวานาเคดที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที	46
ภาพที่ 27	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟีนอล	47
ภาพที่ 28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทธวานาเคดที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทธวานาเคด (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส	49

ภาพที่ 29	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์	51
ภาพที่ 30	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล	52
ภาพที่ 31	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียม โดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากผงบิสมัทวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส	54
ภาพที่ 32	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จาก การเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) 850 วัตต์	56
ภาพที่ 33	กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2,4-ไดคลอโรฟีนอล	57
ภาพที่ 34	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส	59
ภาพที่ 35	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการ ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จาก การเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์	61

**ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดย
วิธีโซลเวอร์เทอร์มอลร่วมกับวิธีไมโครเวฟ 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**

ภูสิต ปุกมณี¹ จิราภรณ์ กิติกุล¹

Pusit Pookmanee¹ Jiraporn Kitikul¹

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

¹Department of Chemistry, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ: โฟโตแคตาไลติกส์ วิธีโซลเวอร์เทอร์มอล 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 °C for 24 h. The powder was characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (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

คำนำ

ในปัจจุบัน^[1] มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความต้องการใช้น้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรมหรือชุมชน ผลจากการใช้น้ำดังกล่าวทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำขึ้น ดังจะเห็นได้จากรายงานในช่วงหลายปีที่ผ่านมาของไทยที่เกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพน้ำสายต่างๆ ที่เป็นแหล่งน้ำใช้กิจกรรมต่างๆรวมถึงเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียชุมชน ซึ่งมีรายงานโดยสรุปว่าในช่วงตอนบนของแม่น้ำสายหลัก จะมีคุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่สำหรับตอนล่างของแม่น้ำ จะพบว่าคุณภาพน้ำมีแนวโน้มเสื่อมโทรมลงเรื่อยๆ เนื่องจากการสะสมของปริมาณสารอินทรีย์ แบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม รวมถึงการเจริญเติบโตของวัชพืชน้ำและสาหร่ายต่างๆ ทั้งนี้ ปัญหาจะเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม พื้นที่ที่มีการเพิ่มขึ้นของโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและชุมชน การที่จะทำให้เกิดการจัดการทรัพยากรน้ำให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพื่อทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสม และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้น จำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมมลพิษทางน้ำ หรือการจัดการคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นๆอย่างเหมาะสม

ฟีนอลและอนุพันธ์ของฟีนอล^[2] เช่น สารประกอบคลอโรฟีนอล (Chlorophenol compounds) มีใช้กันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และจากการใช้เป็นยาปราบศัตรูพืช ในภาคเกษตรกรรม สารเหล่านี้เป็นสารพิษที่ก่อมะเร็งเป็นอันตรายทั้งต่อมนุษย์ สัตว์ สิ่งมีชีวิตในน้ำและระบบนิเวศน์ ทั้งยังเป็นตัวการสำคัญที่ก่อมลพิษทางน้ำ ซึ่งเป็นผลมาจากการปล่อยน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารพิษเหล่านี้ของโรงงานอุตสาหกรรมลงสู่แหล่งน้ำลำคลอง และน้ำหลากที่ไหลชะล้างในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการสะสมของยาปราบศัตรูพืชจนเกิดการปนเปื้อนในแม่น้ำลำคลองรวมไปถึงน้ำใต้ดิน

การกำจัดสารประกอบคลอโรฟีนอล ที่เกิดจากกระบวนการน้ำชะล้างหน้าดินหรือน้ำใต้ดินจากการทำการเกษตรและการใช้ยาปราบศัตรูพืช ได้มีการใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไป (Conventional treatment) แต่ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารประกอบคลอโรฟีนอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียขั้นสูงมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารประกอบคลอโรฟีนอล เช่น กระบวนการดูดติดถ่านกัมมันต์ (Activated carbon absorption) แต่พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ยังมีขีดจำกัด คือ ถ่านกัมมันต์จะมีความสามารถในการดูดซับถึงจุดสูงสุดและไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป เนื่องจากพื้นที่ผิวของการดูดซับถูกใช้ไปหมดแล้ว ถ้าต้องการนำกลับมาใช้ใหม่จะมีค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับอีกครั้งหนึ่งที่สูงมาก (Regenerate)

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาและใช้กันแพร่หลาย สำหรับปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic) ในการบำบัดสารพิษอันตราย รวมไปถึงสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอล ซึ่งเป็นการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) หรือแสงวิสิเบิล (Visible) ใช้ในการกระตุ้นให้อนุภาคของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ให้ปลดปล่อยอนุภาคเรดิคัล (Radical) สามารถทำลายพันธะของสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอล โดยพบว่า การใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแคตาไลสต์ (Catalyst) สามารถเพิ่มอัตราการเกิดสลายตัวของสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอลได้มากกว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิลเพียงอย่างเดียว สำหรับการใช้อย่างออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น โอโซน (O_3) หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ก็สามารถทำลายสารประกอบฟีนอลและคลอโรฟีนอล แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณีข้างต้น ถึงแม้ว่าถ้ามีการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับตัวออกซิไดซ์ จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นบ้าง แต่ราคาค่าต้นทุนของโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีราคาที่สูงมาก โดยเฉพาะในการใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษมีไม่มากนัก ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ อาศัยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้กำจัดสารพิษต่างๆ ที่เป็นพิษในแหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งยังสามารถย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากแหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์ฟีนอล

ฟีนอล⁹ เป็นสารประกอบอะโรมาติกกลุ่มหนึ่งของสารอินทรีย์ที่พบอยู่มากมายประกอบด้วยวงเบนซีนและอย่างน้อยหนึ่งกลุ่มของไฮดรอกซิล ปัจจุบันนี้อนุพันธ์ของฟีนอลมีอยู่มากมายหลายชนิดและมีความซับซ้อนมาก หนึ่งในอนุพันธ์ของฟีนอลนั้น คือ สารประกอบคลอโรฟีนอล ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลที่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการที่อะตอมของคลอรีนเข้าไปแทนที่ในตำแหน่งของไฮโดรเจนอะตอมอย่างน้อยหนึ่งอะตอม

ฟีนอลและคลอโรฟีนอล เป็นสารพิษที่อันตรายต่อสิ่งมีชีวิต อีกทั้งยังเป็นสารก่อมะเร็ง ฟีนอลเป็นสารที่ใช้มากทั้งในทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม โดยทางเกษตรกรรมมีการใช้สารประกอบกลุ่มนี้ในการเตรียมสารฆ่าแมลง สารปราบศัตรูพืช สารฆ่าเชื้อราและป้องกันการติดเชื้อ ส่วนในอุตสาหกรรมมีการใช้สารประกอบฟีนอลเป็นสารตั้งต้นหรือตัวกลางในการผลิตพลาสติก กระดาษ ยา สี เรซิน รวมถึงการใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ น้ำยางสังเคราะห์และอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน ส่วนคลอโรฟี

นอล ส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารในการผลิตยาพ่นควันฆ่าแมลง และใช้ในทางเกษตรกรรมทั้งยังสามารถเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนการเติมคลอรีนของการบำบัดน้ำเสีย

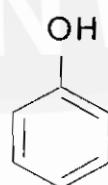
สารประกอบฟีนอลิก^[4] เป็นสารเคมีกลุ่มหนึ่งที่ถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ในภาคอุตสาหกรรมสารประกอบฟีนอลิกถูกนำมาใช้เป็นตัวกลางในการผลิตพลาสติก ยาสีฟัน และอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ส่วนในภาคเกษตรพบว่าสารประกอบฟีนอลิกถูกนำมาใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลง ยาฆ่าเชื้อรา และยาป้องกันการติดเชื้อและอื่นๆ ดังนั้นเมื่อมีการใช้สารประกอบฟีนอลิกกันมากขึ้นย่อมเกิดผลกระทบต่อปัญหาทาง สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาสิ่งแวดล้อมทางน้ำเนื่องจากการปล่อยน้ำ ที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลอย่างยิ่งในการทำลายคุณภาพของน้ำ และมีผลต่อสิ่งมีชีวิต

ฟีนอล (Phenol)

สารประกอบฟีนอลหรือฟีนอลิก^[5] มีทั้งในรูปผลึก หรือของเหลว ไม่มีสี หากผลึกสัมผัสอากาศจะกลายเป็นสีชมพู กลิ่นมีลักษณะเฉพาะ เป็นกลิ่นเหมือนกรดหรือเป็นกลิ่นหอมหวาน มีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตรโมเลกุล	C_6H_6O
น้ำหนักโมเลกุล	94.11 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	181.7 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	40.5 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	1.07 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร
ความสามารถในการละลายน้ำ	8.3 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



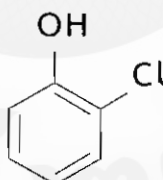
ภาพที่ 1 โครงสร้างของฟีนอล

คลอโรฟีนอล (2-Chlorophenol)

คลอโรฟีนอล (2-Chlorophenol, 2CP)^[6] มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองอำพัน เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุพันธ์ของฟีนอล ถูกนำมาใช้เป็น ยาฆ่าเชื้อ และสารกำจัดศัตรูพืชอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตหากสูดดมเข้าไป กลืนกิน หรือดูดซึมผ่านผิวหนัง ระคายเคืองต่อผิวหนังและดวงตา มีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตร โมเลกุล	C ₆ H ₅ ClO
น้ำหนักโมเลกุล	128.56 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	174.9 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	9.4 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	1.2634 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลายน้ำ	20 กรัม ต่อ น้ำ 1000 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ 2-คลอโรฟีนอล

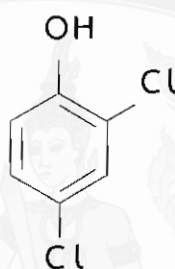
ไดคลอโรฟีนอล (2,4-Dichlorophenol)

ไดคลอโรฟีนอล (2,4-Dichlorophenol, 2,4-DCP)^[7] มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งใสไม่มีสี ไม่ละลายน้ำ เป็นสารก่อมะเร็งและมีผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ ถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตยาฆ่าแมลง ตัวสกัดสารหรือแยกสาร มีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 3

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี

สูตร โมเลกุล	C ₆ H ₄ Cl ₂ O
น้ำหนักโมเลกุล	163 กรัมต่อโมล
จุดเดือด	209-210 องศาเซลเซียส

จุดหลอมเหลว	42-43 องศาเซลเซียส
ความถ่วงจำเพาะ	1.38 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความสามารถในการละลายน้ำ	0.45 กรัม ต่อ น้ำ 100 มิลลิลิตร
	ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล

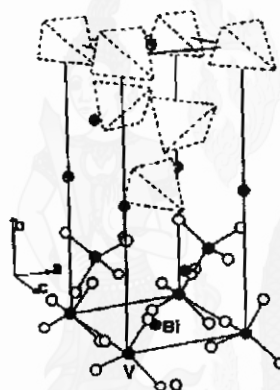
บิสมัทวานาเดต (Bismuth vanadate)

บิสมัทวานาเดต (BiVO_4)^[8,9] ประกอบด้วยบิสมัทหนึ่งอะตอม วานาเดียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม เป็นสารที่มีคุณสมบัติเฟอร์โรอิเล็กทริก (Ferroelectric) และวัสดุโฟโตแคตาไลสต์กึ่งตัวนำ ซึ่งคุณสมบัตินี้เหมือนกับสารอิเล็กโตรไลต์หรือโลหะแคโทดในเซลล์เปล่งออกไซด์ที่เป็นของแข็ง ผงบิสมัทวานาเดตสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนตเปลี่ยนเอซิลเบนซีนเป็นสไตรีนได้ บิสมัทวานาเดตเป็นสารที่มีสีเหลือง ใช้เป็นตัวเติมในการผลิตประเภท สีทาแทนตะกั่วและแคดเมียม เนื่องจากเป็นสารที่มีสมรรถภาพสูงและไม่มีพิษต่อระบบนิเวศ

คุณสมบัติของบิสมัทวานาเดต^[10]

สูตรโมเลกุล	BiVO_4
น้ำหนักโมเลกุล	395.92
สี	เหลือง
ลักษณะ	ของแข็ง
จุดหลอมเหลว	ประมาณ 1000 องศาเซลเซียส

บิสมัทวานาเดต^[11,12] จะมีเฟสของผลึกอยู่ 3 เฟสคือ โมโนคลินิก (Monoclinic) แบบเฟอร์กูโซไนท์ (Fergusonite) โมโนคลินิก แบบชีไลท์ (Scheelite) และเตตระโกนอล (Tetragonal) แบบเซอร์คอน (Zircon) ทั้งสามโครงสร้างนี้สามารถเตรียมได้ที่อุณหภูมิ 225 องศาเซลเซียส ซึ่งการเตรียมบิสมัทวานาเดตที่มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก สามารถเตรียมในกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง ส่วนโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลได้จากกระบวนการเตรียมที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 4 โครงสร้างโมโนคลินิก แบบเฟอร์กูโซไนท์ ของบิสมัทวานาเดต^[12]

การเตรียมผงบิสมัทวานาเดต

การเตรียมบิสมัทวานาเดต สามารถเตรียมโดยวิธีทางเคมีหลายวิธีด้วยกันนักวิจัยหลาย ๆ ท่าน มุ่งสนใจในการออกแบบวิธีเตรียมในวิธีทางที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติที่สมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพ มีวิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีการตกตะกอนร่วม (Coprecipitation method)

การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีการตกตะกอนร่วมทางออกซาเลต^[13] โดยเป็นกระบวนการทำปฏิกิริยากันระหว่างสารละลายแอมโมเนียมเมธวานาเดตและบิสมัทไนเตรท ในกรดไนตริก ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยโมล ซึ่งจะตกตะกอนสมบูรณ์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 1.0 ได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยตกตะกอน จะได้ตะกอนที่มีโครงสร้างเป็นแบบเซอร์คอน นำตะกอนที่ได้ไปเผาแคลไซน์ ที่อุณหภูมิ 200-450 องศาเซลเซียส จะได้ตะกอนที่มีโครงสร้างเป็นชีไลท์

2. วิธีซอลเจล (Sol-gel method)

การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีซอล-เจล^[14] โดยทำการละลายบิสมัทไนเตรท ด้วยเอทานอล ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากสารละลายเย็นตัวลง ทำการเติมสารละลายวานาดีลเพนทอกไซด์ และจะเกิดการไฮโดรไลซ์ เมื่อเติมน้ำในปริมาณมากเกินไป เป็นเวลา 24

ชั่วคราว หลังจากนั้นจะเกิดเจล และปริมาณของเจล ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารละลายกรดอะซิติกและสารละลายอะซิติกอะซิโตน เพื่อการเปลี่ยนแปลงให้สารอยู่ในรูปคอลลอยด์ คือ เจล ซึ่งจะให้ผลผลิตเป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิดคีเลตที่แข็งแรงกับโลหะ แล้วนำไปเผาแคลไซน์จะได้อนุภาคนาโนไมโครเมตร

3. วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)

การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล^[15] สามารถเตรียมได้โดยการเกิดปฏิกิริยาโดยตรงระหว่างของเหลว คือ การเติมสารละลายบิสมัทไนเตรท ลงในสารละลายวานาเดียมเพนทอกไซด์หรือโซเดียมเมธวานาเดต ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียสและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7.0 จากนั้นจะเกิดกระบวนการของอนุภาคนาโนบิสมัทวานาเดต นำสารละลายที่ได้ไปเข้าสู่ไฮโดรเทอร์มอล โดยควบคุมอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และเวลาที่ทำปฏิกิริยา พบว่า จะได้ตะกอนของบิสมัทวานาเดต ที่มีอนุภาคนาโนไมโครเมตร

4. วิธีโซลโวเทอร์มอล (Solvothetmal method)

การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีโซลโวเทอร์มอล^[16] สามารถเตรียมได้ในสารละลายเอทานอลกับน้ำในอัตราส่วน เท่ากับ 3:1 โดยพบว่า บิสมัทวานาเดต มีความยาว เท่ากับ 200 นาโนเมตรและมีความหนาเท่ากับ 30 นาโนเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

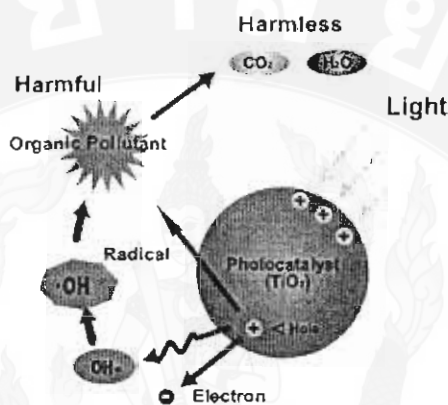
5. วิธีไมโครเวฟ (Microwave method)

การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไมโครเวฟ^[17] สามารถเตรียมได้โดยใช้สารตั้งต้น คือ บิสมัทไนเตรดกับโซเดียมวานาเดต ภายใต้เงื่อนไขของสภาวะการเตรียม คือ เวลาและพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ บิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้จะมีรูปร่างเป็นแบบเคระ โคนอลและ โมโนคลินิก สามารถตรวจสอบโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ และทำการศึกษาคุณสมบัติทางด้านโฟโตแคตาไลติกส์ โดยแสงวิสิเบิลของบิสมัทวานาเดต

กระบวนการโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic)

โฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic)^[18-22] เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้แสงและตัวแคตตาลิสต์เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา โดยเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับอะตอมหรือโมเลกุลที่ถูกฉายด้วยแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) หรือในช่วงที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า (Visible) เป็นแสงที่มีความยาวคลื่น (Wavelength) ระหว่าง 200-800 นาโนเมตรเป็นแสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่จะเข้าไปกระตุ้นการทำงานของตัวแคตตาลิสต์ โดยจะต้องมีค่ามากกว่า

หรือเท่ากับ Band Gap ภายในตัวแคตาลิสต์จึงจะทำให้เกิดกระบวนการโฟโตแคตาไลติกส์ขึ้น แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์^[19]

ชนิดของโฟโตแคตาไลติกส์

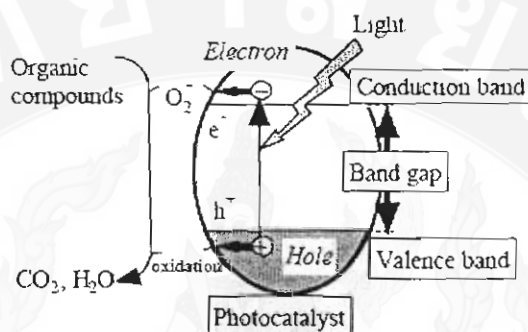
โฟโตแคตาไลติกส์ สามารถแยกได้ 2 ประเภท เมื่อพิจารณาจากสถานะของตัวแคตาลิสต์ ดังนี้

- 1) โฟโตแคตาไลติกส์แบบสถานะเดียว (Homogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้แคตาลิสต์ซึ่งมีสถานะเดียวกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด (โดยทั่วไปแล้วจะเป็นของเหลว) เช่น การย่อยสลาย 2,4 Dinitrofluorene โดยใช้ UV/H₂O₂
- 2) โฟโตแคตาไลซิสแบบสถานะต่าง (Heterogeneous photocatalysis) เป็นกระบวนการที่ใช้ตัวแคตาลิสต์ ซึ่งมีสถานะต่างกับสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัด เช่น ย่อยสลาย 2-Chlorophenol โดยใช้ UV/TiO₂

กลไกของปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์

การเกิดปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ภายในสารกึ่งตัวนำเกิดได้จากภายในสารกึ่งตัวนำจะประกอบด้วย วาเลนซ์แบนด์ (Valence band) และคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) โดยมี Band Gap ขึ้นอยู่ระหว่างแบนด์ทั้งสอง เมื่อสารกึ่งตัวนำหนึ่งได้รับ พลังงานแสงที่มากกว่า Band Gap อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะถูกกระตุ้นให้เคลื่อนที่จาก วาเลนซ์แบนด์ (Valence band) ไปยังคอนดักชันแบนด์ (Conduction band) ทำให้เกิดเป็นโฮล (Hole) ขึ้นที่วาเลนซ์แบนด์ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า เกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน-โฮล (e⁻/h⁺ pairs) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนจะเกิดสองแบบ คือ อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากคอนดักชันแบนด์ไปยังตัวรับอิเล็กตรอนในสารละลาย (เกิดเป็นปฏิกริยารีดักชัน)

หรืออิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จากตัวให้อิเล็กตรอนในสารละลายไปยังโซลโนวาเลนซ์แบนด์ (เกิดเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน) แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กลไกปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์^[21]

ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ จึงเกิดได้ 2 กระบวนการ คือ

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของช่องว่างกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และน้ำ (H_2O) เกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคอล ($OH^\cdot$) และปฏิกิริยารีดักชันของอิเล็กตรอนกับออกซิเจน (O_2) หรือไฮโดรเจนไอออน (H^+) เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนแรดิคอล ($O_2^{\cdot-}$) เปอร์ไฮดรอกซิลแรดิคอล-ออกไซด์ ($HO_2^\cdot$) และไฮโดรเจนแรดิคอล ($H^\cdot$)
2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ที่ดูดติดบนโฮล (Hole) ของตัวแคตาไลสต์ ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ พบว่า ตัวปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ ไฮดรอกซิลแรดิคอล ($OH^\cdot$) กับสารอินทรีย์ ส่วนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างช่องว่างกับสารอินทรีย์นั้นเป็นปฏิกิริยารอง ซึ่งเกิดขึ้นได้น้อยกว่า

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมผงบิสมัธวานาเคต โดยวิธีโซโวเทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงบิสมัธวานาเคต
3. เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารประกอบคลอโรฟีนอล

โดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเคต

4. เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารประกอบคลอโรฟีนอลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรมบริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมและพัฒนาสารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ที่เตรียมได้โดยวิธีโซโวเทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ
2. สามารถกำจัดสารประกอบคลอโรฟีนอล ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม
3. นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์และพัฒนาผลิตภัณฑ์สารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ สำหรับการใช้กำจัดของเสียที่อยู่ในรูปของสารประกอบคลอโรฟีนอล ในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยาปราบศัตรูพืช โดยมีภาครัฐและภาคเอกชนร่วมมือกัน ในห้องค์ความรู้แก่ประชาชน
4. สามารถนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมระดับชาติและระดับนานาชาติ
5. สามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติ

การตรวจเอกสาร

การศึกษาการเตรียมบิสมัธวานาเดต โดยวิธีโซโนเคมี^[23] สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเทรตและแอมโมเนียมวานาเดต อัตราส่วนโดยโมล เท่ากับ 1:1 ทำการเตรียมที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาภายใต้คลื่นอัลตราซาวนด์ความถี่สูง เป็นเวลา 60 นาที จะได้ตะกอนสีเหลืองของบิสมัธวานาเดต ทำการศึกษาลักษณะ โครงสร้าง ลักษณะฐานวิทยา องค์ประกอบทางเคมี การหาพื้นที่ผิวและการทดสอบคุณสมบัติโฟโตแคตาไลติกส์ พบว่า บิสมัธวานาเดต ที่เตรียมได้มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก เมื่อผ่านคลื่นอัลตราซาวนด์ความถี่สูง เป็นเวลา 60 นาที มีช่วงของขนาดอนุภาค เท่ากับ 100-300 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิว เท่ากับ 4.16 ตารางเมตรต่อกรัมและประสิทธิภาพการสลายตัวของสีย้อมเมธิลอร์เรนจ์โดยบิสมัธวานาเดต มีค่าเท่ากับ 90% เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าไททาเนียมไดออกไซด์ (P25) ประมาณ 15 เท่า

การเตรียมบิสมัธวานาเดต โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล^[24] สารตั้งต้นที่ใช้คือ บิสมัธไนเทรตและแอมโมเนียมวานาเดต ด้วยอัตราส่วนโดยโมล เท่ากับ 1:1 ปรับสารละลายสุดท้ายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 นำเข้าเครื่องไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง พบว่า บิสมัธวานาเดตที่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก มีช่วงขนาดอนุภาค เท่ากับ 200-700 นาโนเมตร

การศึกษาการสลายตัวของฟีนอลโดยผงไททาเนียมไดออกไซด์ ที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล^[25] สารตั้งต้นที่ใช้ คือ ไททาเนียมไอโซโพรพอกไซด์ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และกรดไนตริก สารละลายสุดท้ายมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 1 ทำการให้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าไททาเนียมไดออกไซด์มีโครงสร้างเป็นแบบ อนาเทส มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 0.5 ไมโครเมตรและการศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของการสลายตัวของฟีนอล โดยผงไททาเนียมไดออกไซด์ พบว่า สามารถทำการสลายฟีนอลได้ประมาณ 74% เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารประกอบคลอโรฟีนอล^[26] โดยระบบผสมที่มีไททาเนียมไดออกไซด์กับทั้งสเดนออกไซด์และไททาเนียมไดออกไซด์กับทินออกไซด์ พบว่า การสลายตัวของสารประกอบคลอโรฟีนอลของระบบผสมทั้ง 2 ระบบมีค่าลดลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่มีเฉพาะไททาเนียมไดออกไซด์ ทั้งสเดนออกไซด์และทินออกไซด์

การศึกษาผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์โดยผงบิสมัธวานาเดต^[27] เพื่อใช้ในการกำจัดสารประกอบอัลคิลฟีนอล (4-n-alkylphenols) ภายใต้แสงวิสิเบิล อัตราการสลายตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนความยาวของหมู่อัลคิลที่ยาวขึ้น ค่าครึ่งชีวิตของโนนิลฟีนอล (4-n-nonylphenol) มีค่าเท่ากับ 18 นาที โดยมีค่าครึ่งชีวิตที่น้อยกว่าฟีนอล ประมาณ 8 เท่า อัตราการสลายตัวของเฮปทิล

ฟีนอล ออกทิลฟีนอลและ โนนิลฟีนอล เป็นปฏิกิริยา อันดับศูนย์ บิสมัทวานาเดตมีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งเพียงพอ สำหรับการใช้ในการสลายตัวสารประกอบฟีนอลที่มีหมู่อัลคิล ที่มีสายยาวเพิ่มมากขึ้น

การปรับปรุงคุณสมบัติทางการดูดซับและโฟโตแคตาไลติกส์ในการสลายตัวของสารประกอบอัลคิลฟีนอล^[28] โดยบิสมัทวานาเดตที่มีการเจือปนอนุภาคนาโนเล็กของเงิน (Ag) พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับสารประกอบ โนนิลฟีนอล (4-n-nonylphenol, NP) และออกทิลฟีนอล (4-n-octylphenol, OP) ได้ดี และการสลายตัวสารประกอบ โนนิลฟีนอล มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเจือปนอนุภาคนาโนเล็กของเงินลงในผงบิสมัทวานาเดต

การศึกษาผลของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ โดยผงบิสมัทวานาเดต^[29] ที่มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลีนิก ภายใต้แสงวิสิเบิลของสารประกอบฟีนอลและปฏิกิริยาโฟโตรีดักชันของโครเมียม (Cr(VI)) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแต่ละปฏิกิริยาระหว่างปฏิกิริยาของสารละลายฟีนอลและปฏิกิริยาโฟโตรีดักชันของโครเมียม (Cr(VI)) พบว่า มีอัตราการปฏิกิริยาที่ช้ามาก เมื่อเปลี่ยนสภาวะโดยใช้ปฏิกิริยาร่วมทั้ง 2 ชนิด พบว่า มีการเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เร็วกว่าเมื่อใช้ปฏิกิริยาเดียว โดยมีค่าอัตราปฏิกิริยาสูงกว่า ประมาณ 6 เท่า และมีอันดับของปฏิกิริยา (Order reaction) เท่ากับ 1 โดยมีค่าคงที่อัตรา (Rate constant) เท่ากับ 0.0314 ต่อนาที

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมี

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อสารเคมี	เกรด/ความบริสุทธิ์	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
กรดไนตริก (HNO_3)	65.0% v/v	Merck	Germany
กรดอะซิติก	99.8% v/v	QRec	New Zealand
(CH_3COOH)	98.0% v/v	Fluka	England
2-คลอโรฟีนอล			
($\text{C}_6\text{H}_5\text{ClO}$)	98.0% v/v	Fluka	England
4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอล			
($\text{C}_7\text{H}_7\text{ClO}$)			
2,4-ไดคลอโรฟีนอล	97% w/v	Fluka	England
($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}_2\text{O}$)			
บิสมีทไนเตรทเพนตะไฮเดรต	ANALYTICAL 98.5%	Asia Pacific Specialty	Australia
($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)			
2-โพรพานอล	HPLC gradient grade	Fisher Scientific	England
($\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$	99.99% v/v		
ฟีนอล ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$)	99.0-100.5 w/v	Merck	Germany
แอมโมเนียมวานาเดต	ANALYTICAL	Ajax Finechem	New Zealand
(NH_4VO_3)	99.5% v/v		
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	28% w/v	QRec	New Zealand
(NH_4OH)			

เครื่องมือและอุปกรณ์

ตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิตและรุ่น	ประเทศ
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	JEOL รุ่น JSM-6335 F	Japan
โม่ร่งบด (Mortar)	-	-
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟลมไอออไนเซชัน ชนิดเทคเตอร์ (Gas chromatograph, GC-FID)	Agilent รุ่น 7890 A	USA
เครื่องกวนสารละลายและควบคุมอุณหภูมิ (Magnetic stirrer with temperature control)	Fisher Scientific	England
เครื่องเคลือบทองด้วยสุญญากาศ (Gold coater)	JEOL รุ่น JSC-1200	Japan
เครื่องฉีดสารตัวอย่างอัตโนมัติ (Autosamplers)	Agilent รุ่น 7683 B	USA
เครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FT-IR)	Perkin Elmer รุ่น Spectrum RXI	England
เครื่องไมโครเวฟ (Microwave)	Samsung รุ่น MW81Y-E	Thailand
เครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปก- โทรโฟโตมิเตอร์ (Energy dispersive spectrophotometer)	OXFORD ISIS 300	England
เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer, XRD)	PaNalytical รุ่น X'Pert Pro MPD	Netherlands
เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic)	Labquip	England
เครื่องหาขนาดอนุภาค (Surface area analyzers)	Quantachrome Autosorb 1 MP	USA
ตู้อบ (Oven)	Gallenkamp	England
โถดูดความชื้น (Desiccator)	Duran รุ่น Vakuumfest	Germany

ตารางที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ (ต่อ)

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิตและรุ่น	ประเทศ
หลอดวิติเบิล (UV lamp)	Upland รุ่น UVS-18	USA
แผ่นกรอง 0.45 μm (Filter)	Filtrex	USA
ภาชนะทนแรงดันสูง (Teflon-lined stainless-steel autoclave)		Thailand

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารละลาย โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

1. การเตรียมสารละลายบิสมัทไนเตรทเพนตะไฮเดรต เข้มข้น 0.1250 โมลาร์

ชั่งบิสมัทไนเตรทเพนตะไฮเดรตปริมาณ 6.1557 กรัม ละลายด้วยกรดอะซิติก เข้มข้น 5.00 โมลาร์ ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ด้วยกรดอะซิติก เข้มข้น 5.00 โมลาร์ จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต เข้มข้น 0.1250 โมลาร์

ชั่งแอมโมเนียมวานาเดตปริมาณ 1.4696 กรัม ละลายด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 6.00 โมลาร์ ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ด้วยกรดอะซิติก เข้มข้น 5.00 โมลาร์ จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายอะซิติก เข้มข้น 5.00 โมลาร์

ปิเปตอะซิติก ความเข้มข้น 99.80 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 287.00 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 6.00 โมลาร์

ปิเปตแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 28-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 813.00 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลาย โดยวิธีไมโครเวฟ

1. การเตรียมสารละลายบิสมีทในเตรทเพนทะไฮเดรต เข้มข้น 0.050 โมลาร์

ชั่งบิสมีทในเตรทเพนทะไฮเดรตปริมาณ 2.4623 กรัม ละลายด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 4.00 โมลาร์ ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต เข้มข้น 0.050 โมลาร์

ชั่งแอมโมเนียมวานาเดตปริมาณ 0.5878 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายไนตริก เข้มข้น 4.00 โมลาร์

ปีเปตไนตริกความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 275.00 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

4. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.00 โมลาร์

ปีเปตแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 28-30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 271.00 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 1000 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลายฟีนอลและสารประกอบคลอโรฟีนอล

1. การเตรียมสารละลายฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งฟีนอล ปริมาณ 0.10 กรัม ละลายด้วย 2-โพรพานอล ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร กวนสารจนละลาย ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลาย 2-คลอโรฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปต 2-คลอโรฟีนอล ปริมาตร 80.00 ไมโครลิตร ละลายด้วย 2-โพรพานอล ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร กวนสารจนละลาย ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

3. การเตรียมสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่ง 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ปริมาณ 0.10 กรัม ละลายด้วย 2-โพรพานอล ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร กวนสารจนละลาย ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ซึ่ง 4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอล ปริมาณ 0.10 กรัม ละลายด้วย 2-โพรพานอล ในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร กวนสารจนละลาย ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มล

ปีเปิดสารละลายฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ปีเปิดสารละลาย 2-กลอโรฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร
จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ปีเปิดสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมี
ปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ปีเปิดสารละลาย 4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอลเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร

ปีเปิดสารละลายฟีนอล เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

ปีเปิดสารละลาย 2-คลอโรฟีนอล เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

11. การเตรียมสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เข้มข้น 20.00 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปีเปตสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร

4. การเตรียมผงบิสมัทวานาเคต โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

การเตรียมผงบิสมัทวานาเคต ด้วยอัตราส่วน โมลของบิสมัทวานาเคตเพนทะไฮเดรต : แอมโมเนียมวานาเคต เท่ากับ 1:1

1. นำสารละลายบิสมัทในเตรทเพนทะไฮเดรต เข้มข้น 0.050 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารตลอดเวลา ที่อุณหภูมิห้อง
2. นำสารละลายแอมโมเนียมวานาเคต เข้มข้น 0.050 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมนลงในสารละลายบิสมัทในเตรทเพนทะไฮเดรต จะได้สารละลายผสมที่มีสีเหลือง
3. ปรับพีเอช ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.0 โมลาร์ จนกระทั่งพีเอชของสารละลายผสม มีค่าเท่ากับ 5
4. นำสารละลายผสมไปให้ความร้อนโดยใช้ภาชนะทนแรงดันสูง 100 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองเพื่อแยกตะกอนออกมา
6. นำตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. การเตรียมผงบิสมัทวานาเคต โดยวิธีไมโครเวฟ

การเตรียมผงบิสมัทวานาเคต ด้วยอัตราส่วน โมลของบิสมัทวานาเคตเพนทะไฮเดรต : แอมโมเนียมวานาเคต เท่ากับ 1:1

1. นำสารละลายบิสมัทในเตรทเพนทะไฮเดรต เข้มข้น 0.1250 โมลาร์ ปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร แล้วคนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสารตลอดเวลา ที่อุณหภูมิห้อง
2. นำสารละลายแอมโมเนียมวานาเคต เข้มข้น 0.1250 โมลาร์ ปริมาตร 100.0 มิลลิลิตร เติมนลงในสารละลายบิสมัทในเตรทเพนทะไฮเดรต จะได้สารละลายผสมที่มีสีเหลือง
3. ปรับพีเอช ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 2.0 โมลาร์ จนกระทั่งพีเอชของสารละลายผสม มีค่าเท่ากับ 7
4. นำสารละลายผสมไปให้ความร้อนโดยใช้เตาไมโครเวฟที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ ตามลำดับ

5. นำสารละลายที่ได้ไปกรองเพื่อแยกตะกอนออกมา

6. นำตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของผงบิสมัทวานาเดค

1. การหาโครงสร้าง โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์

1. นำตะกอนที่ได้จากข้อ 4 และ 5 บดให้ละเอียด ทำการอัดในช่องกลางยึดแผ่นตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาโครงสร้าง ด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์

2. นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688 [30] และ 14-0133 [31]

2. การหาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1. นำตะกอนที่ได้จากข้อ 4 และ 5 บดให้ละเอียด แล้วเติมสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ นำไปกระจายตัวโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 30 นาที

2. นำผงตะกอนตัวอย่างที่แขวนลอยในสารละลายดังกล่าว หยดลงบนสไลด์ที่ติดด้วยเทปทองแดง ประมาณ 1 หยด ปล่อยให้แห้งแล้วนำไปฉายด้วยทอง โดยเครื่องฉายทองเป็นเวลา 150 วินาที

3. วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทาง สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

1. นำตะกอนจากข้อ 4 และ 5 มาบดให้มีลักษณะเป็นผงละเอียด

2. นำตัวอย่างที่ผ่านการบดละเอียดมาแล้วเล็กน้อย เติมสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ นำไปกระจายตัวโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 30 นาที

3. นำตะกอนที่แขวนลอยในสารละลายดังกล่าว หยดใส่สไลด์ที่ติดด้วยเทปทองแดง ประมาณ 1-2 หยด ปล่อยให้แห้งแล้วนำสไลด์ไปฉายด้วยทอง โดยเครื่องเคลือบทอง (ประมาณ 10 วินาที)

4. นำไปวิเคราะห์หาธาตุที่เป็นองค์ประกอบ โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทาง สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

4. การศึกษาพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดค ด้วยเครื่องหาปริมาณพื้นที่ผิว โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว

1. นำตะกอนจากข้อ 4 และ 5 บดให้ละเอียดประมาณ 30 นาที

2. อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3. อบสารตัวอย่างในเตาอบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้องนาน 4 ชั่วโมง

4. ทำการไล่แก๊สที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สไนโตรเจน เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

5. แล้วนำสารตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองปลายกระเปาะ (Pellet cell)

6. แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องหาปริมาณพื้นที่ผิว โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว

5. การศึกษาหุ้ฟงักซันของผงบิสัรวานาเคด โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

1. ทำการเปิดเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
2. นำโพแทสเซียมโบรไมด์ ไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นลงในภาชนะดูดความชื้นก่อนนำมาใช้งาน
3. นำโพแทสเซียมโบรไมด์มาผสมกับผงซิงค์ออกไซด์ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วบดผสมให้เข้ากันอย่างละเอียด
4. นำสารผสมลงไปอัดเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดตัวอย่างผสมแบบแผ่น
5. ทำการวิเคราะห์แผ่นสารผสมด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เพื่อให้ได้เป็นสเปกตรัมสำหรับวิเคราะห์หาหุ้ฟงักซันของผงบิสัรวานาเคดตัวอย่างต่อไป

7. ศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคทาไลติกส์ของผงบิสัรวานาเคดในการกำจัดฟีนอลและสารประกอบคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (GC-FID)

1. การเตรียมสภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ ดังตารางตารางที่ 3 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์

พารามิเตอร์	สภาวะ
ชนิดคอลัมน์	HP-5 (5% phenyl methyl siloxane) ขนาด (30.00 เมตร × 0.32 มิลลิเมตร × 0.25 มิลลิเมตร)
อุณหภูมิคอลัมน์	เริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส คงที่ 1 นาที อัตราเพิ่ม 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 150 องศาเซลเซียส อัตราเพิ่ม 15 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 250 องศาเซลเซียส
ปริมาณสารที่ฉีด	1.0 ไมโครลิตร
เครื่องตรวจวัด	เฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (FID)
ก๊าซพา	ไนโตรเจน อัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที อากาศ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที

2. ปฏิบัติการโฟโตแคตาไลติกส์ของฟีนอล โดยผงบิสมีธวานาเดต

1. นำผงบิสมีธวานาเดตที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียด ปริมาณ 0.10 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในแต่ละบีกเกอร์ ปิดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปกระจายตัว โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 60 นาที
3. ทำการกวนสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ทิ้งไว้ข้ามคืน มาวัดค่าความเข้มข้น จากนั้นทำปฏิบัติการ โฟโตแคตาไลติกส์ด้วยการให้แสงวิสิเบิล ขณะการทำปฏิกิริยาจะต้องกวนสารละลายตลอดเวลา
5. เปิดสารละลายฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ที่เติมน้ำมาตรฐานเปรียบเทียบ (internal standard) (4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอล) 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล จนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร
6. กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
7. ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์

3. ปฏิบัติการโฟโตแคตาไลติกส์ของคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมีธวานาเดต

1. นำผงบิสมีธวานาเดตที่เตรียมได้มาบดให้ละเอียด ปริมาณ 0.10 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 150 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลาย 2-คลอโรฟีนอล หรือ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ในแต่ละบีกเกอร์ ปิดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปกระจายตัว โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 60 นาที
3. ทำการกวนสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่ทิ้งไว้ข้ามคืน มาวัดค่าความเข้มข้น จากนั้นทำปฏิบัติการ โฟโตแคตาไลติกส์ด้วยการให้แสงวิสิเบิล ขณะการทำปฏิกิริยาจะต้องกวนสารละลายตลอดเวลา
5. เปิดสารละลายคลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ที่เติมน้ำมาตรฐานเปรียบเทียบ (internal standard) (4-คลอโร-3-เมทิลฟีนอล) 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วย 2-โพรพานอล จนมีปริมาตรครบ 50 มิลลิลิตร
6. กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร
7. ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์

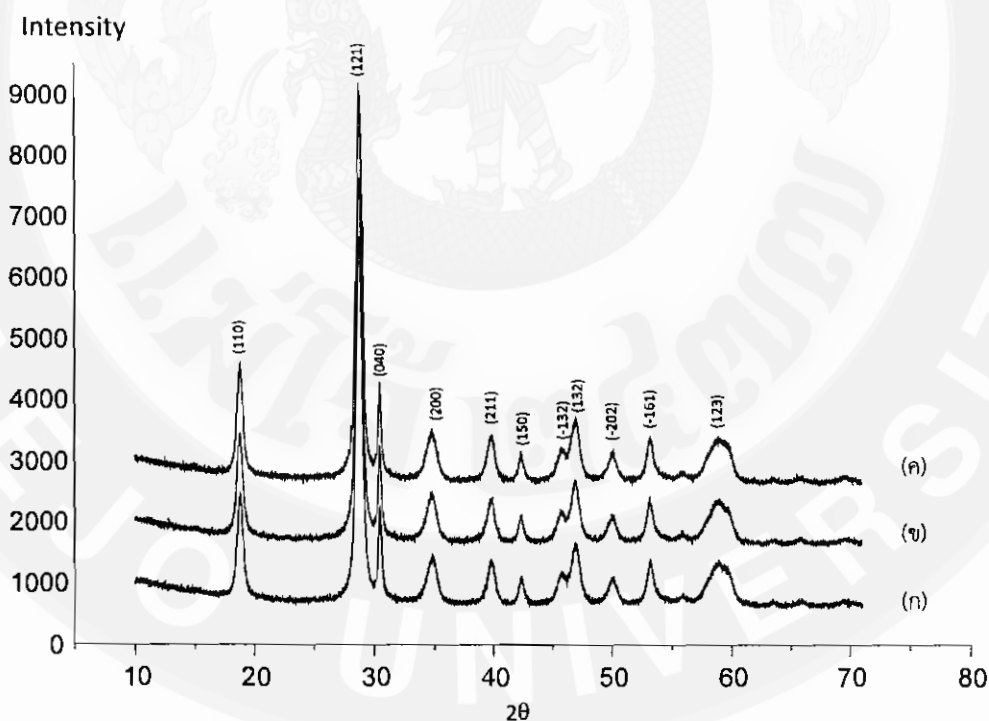
ผลการวิจัย

การวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของผงบิสมัทวานาเดต

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของผงบิสมัทวานาเดต โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธี โซลเวอร์เทอร์มอล ซึ่งมีสารตั้งต้นคือ บิสมัทไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

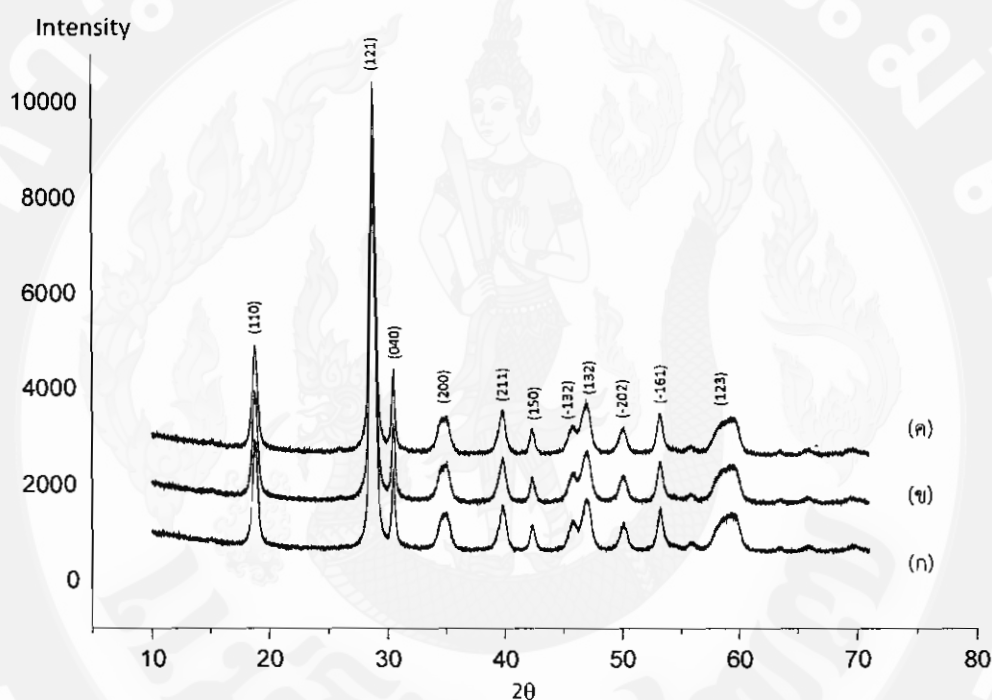
พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688⁽³⁰⁾ บิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธี โซลเวอร์เทอร์มอลที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 7 (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก



ภาพที่ 7 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธี โซลเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

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

พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688^[30] บิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 8 (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิก

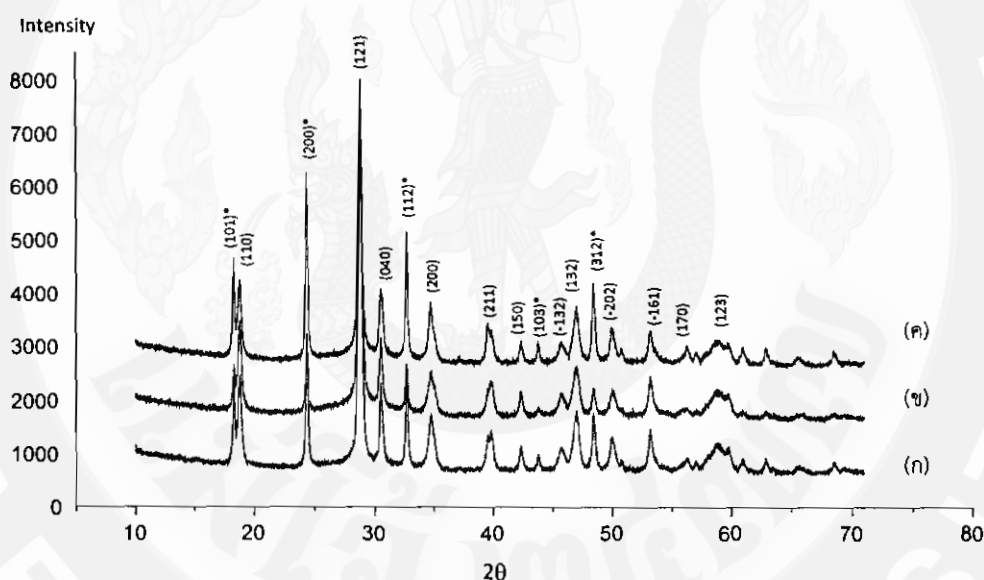


ภาพที่ 8 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ซึ่งมีสารตั้งต้นคือ บิสมัทไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมล เท่ากับ 1:1 โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688^[30] และ 14-0133^[31] บิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที แสดงดังภาพที่ 8 มีลักษณะโครงสร้างผลึกเป็นแบบ โมโนคลินิกและเตตระโกนอล

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



ภาพที่ 9 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์

เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

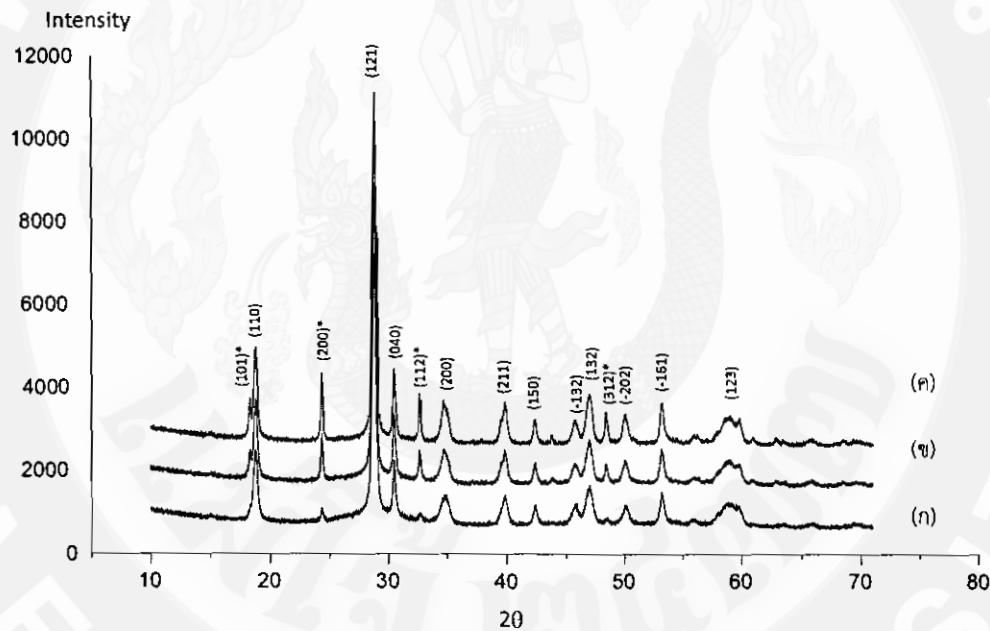
ตารางที่ 4 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์

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

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์คิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

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

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



ภาพที่ 10 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์เป็นเวลา

(ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

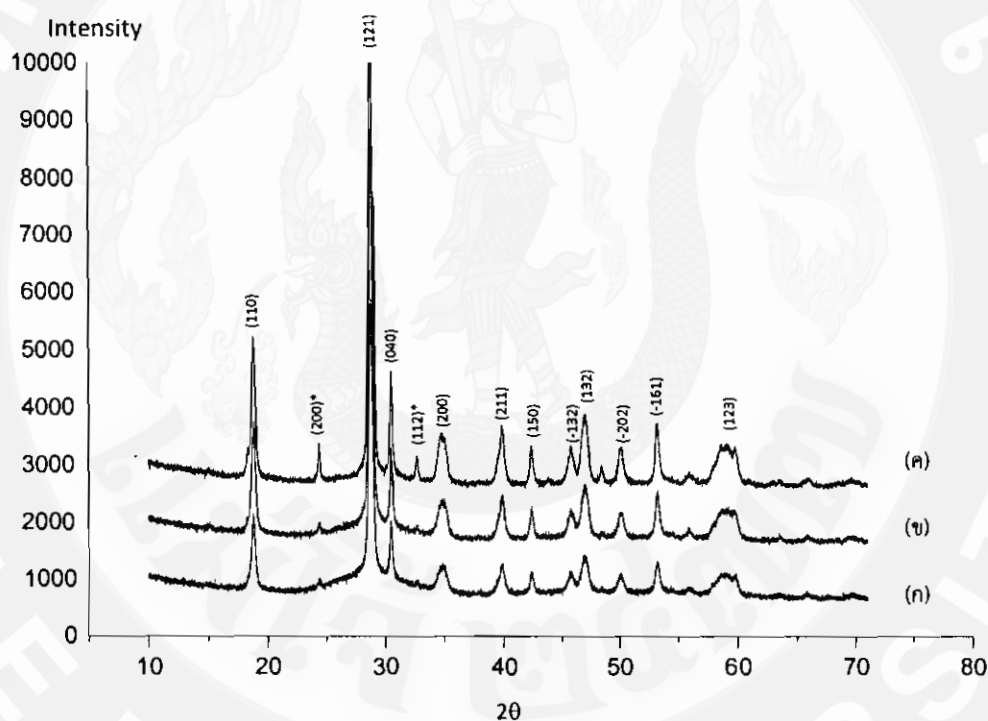
ตารางที่ 5 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์

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

จากการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างผลึกของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 14-0688^[30] และ 14-0133^[31] บิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟที่ กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที แสดงดังภาพที่ 11 (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที มีลักษณะ โครงสร้างผลึกเป็นแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล

จากตารางที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล



ภาพที่ 11 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์

เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

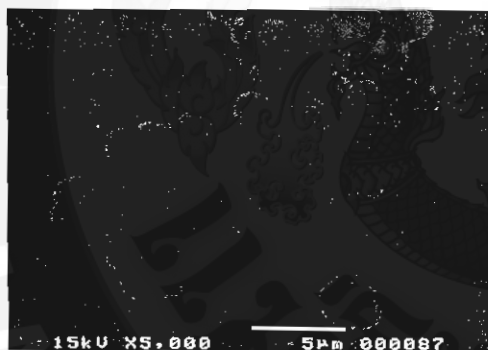
ตารางที่ 6 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์

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

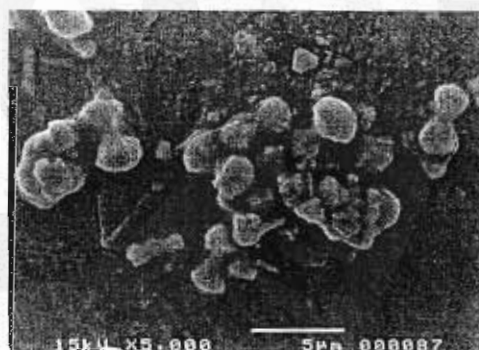
การหาลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัทธวานาเดต โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

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

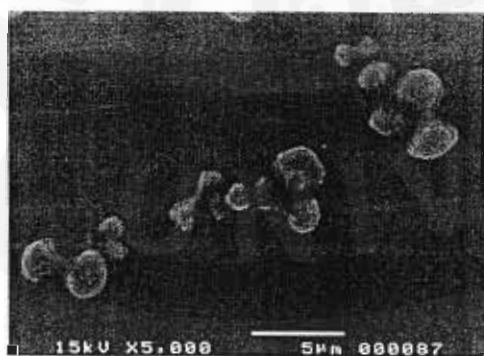
พบว่า ผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12 (ก) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 3.5-4.0 ไมโครเมตร ผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 12 (ข) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้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



(ก)



(ข)

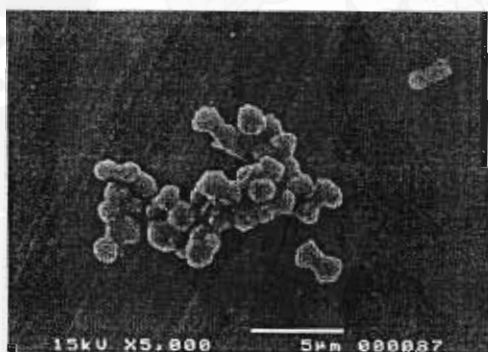


(ค)

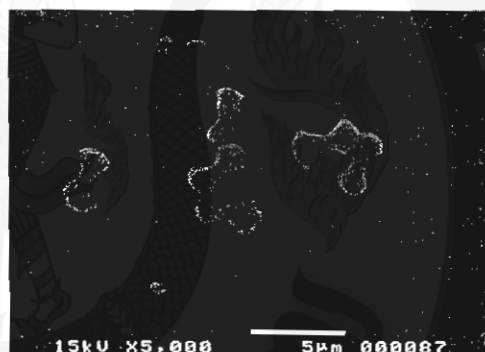
ภาพที่ 12 SEM ของผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา(ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การตรวจสอบลักษณะเฉพาะทางสัณฐานวิทยาของผงบิสมัทธวานาเดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง นำมาตรวจสอบขนาดอนุภาค โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

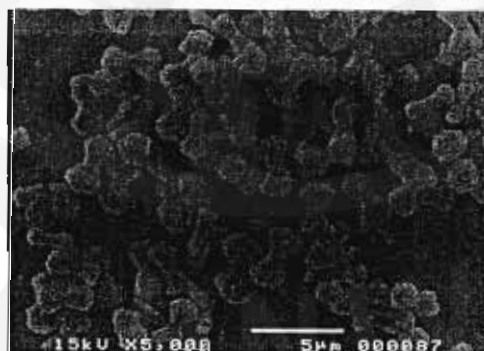
พบว่า ผงบิสมัทธวานาเดที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 (ก) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.5-3.0 ไมโครเมตร ผงบิสมัทธวานาเดที่เตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 13 (ข) มีรูปร่างคล้ายดอกไม้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



(ก)



(ข)

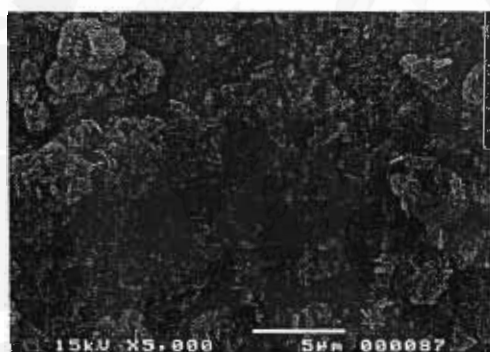


(ค)

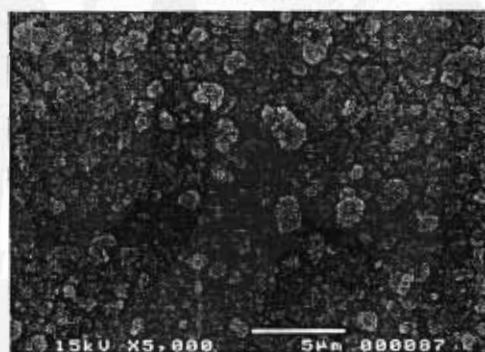
ภาพที่ 13 SEM ของผงบิสมัทธวานาเดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

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

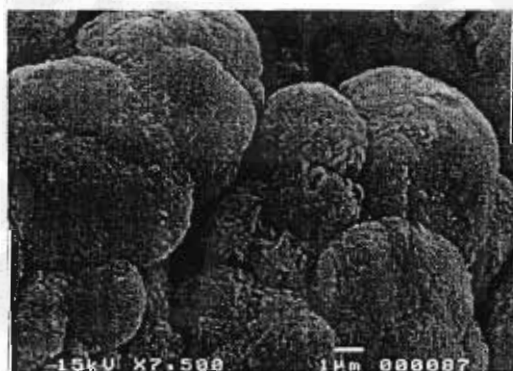
พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 14 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0 ไมโครเมตร ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 14 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน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



(ก)



(ข)

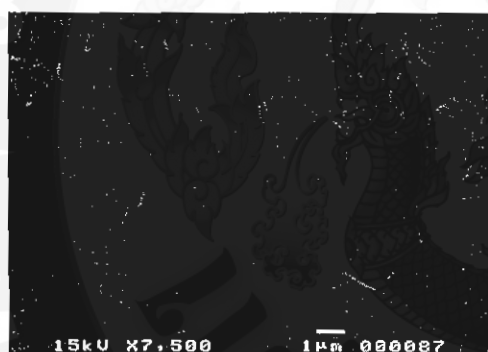


(ค)

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

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

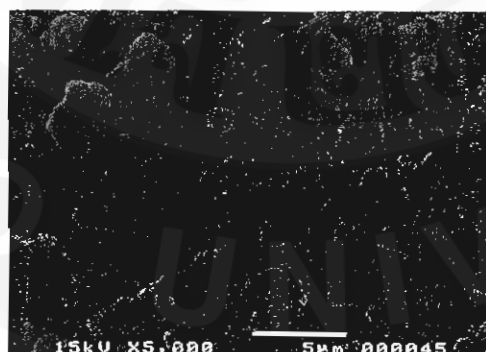
พบว่าผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 15 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 2.0-2.5 ไมโครเมตร ผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 15 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน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



(ก)



(ข)

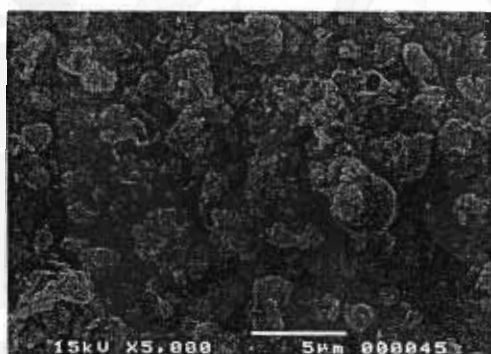


(ค)

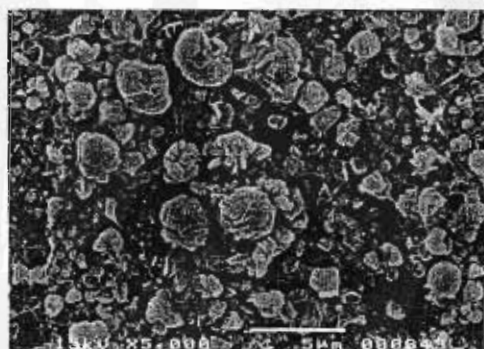
ภาพที่ 14 SEM ของผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์
เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

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

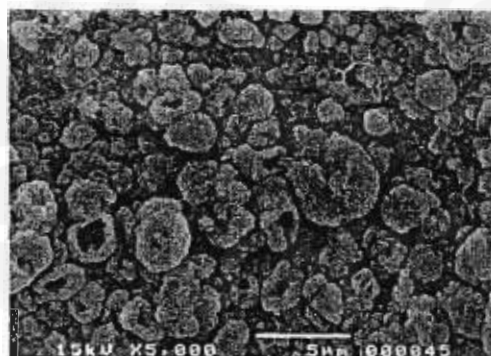
พบว่า ผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที แสดงดังภาพที่ 16 (ก) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 1.5-2.0 ไมโครเมตร ผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 4 นาที แสดงดังภาพที่ 16 (ข) มีรูปร่างอนุภาคไม่แน่นอนและเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน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



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 16 SEM ของผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์

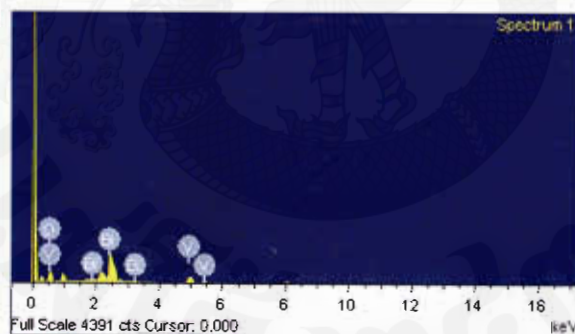
เป็นเวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การหาค่าประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การหาค่าประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

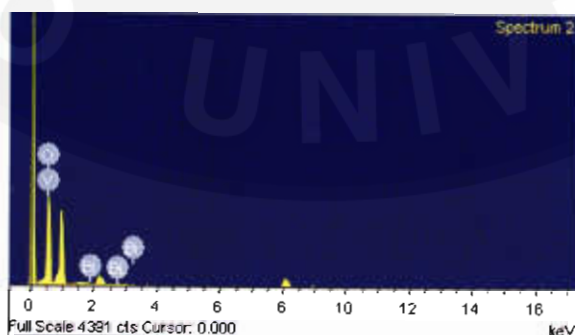
พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัท วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัท M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{γ} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 17

Intensity (a.u.)

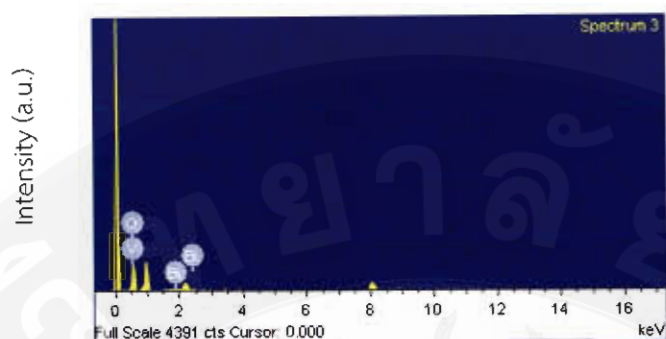


(ก)

Intensity (a.u.)



(ข)



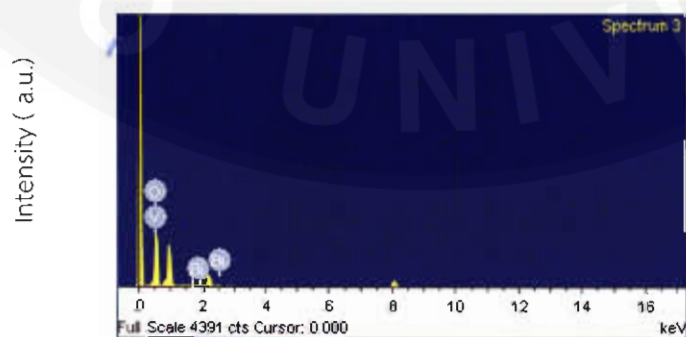
(ค)

ภาพที่ 17 EDS ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส

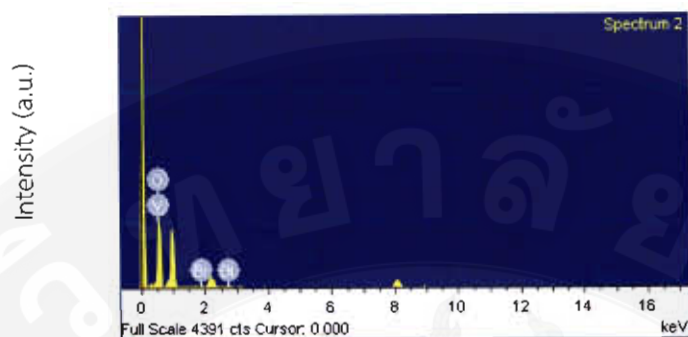
เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

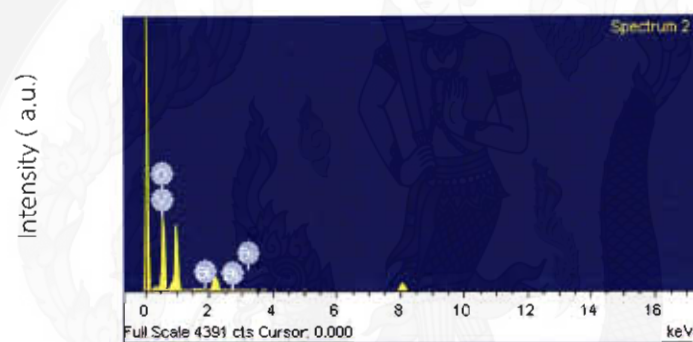
พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัท วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัท M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{γ} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 18



(ก)



(ข)



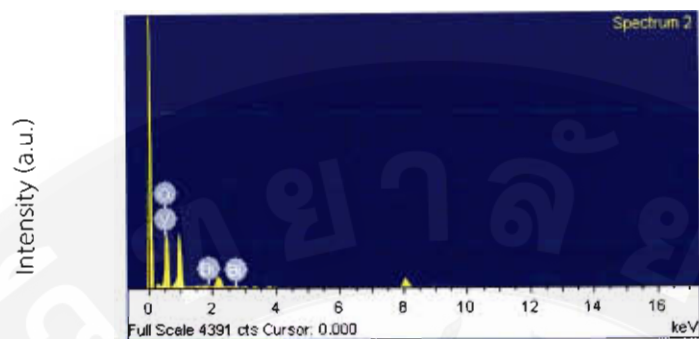
(ค)

ภาพที่ 18 EDS ของผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส

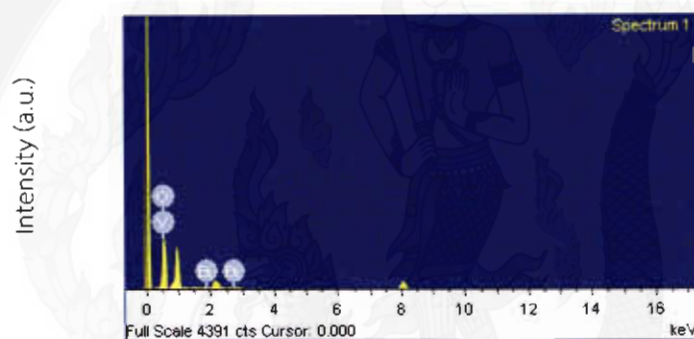
เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

การหาค่าประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

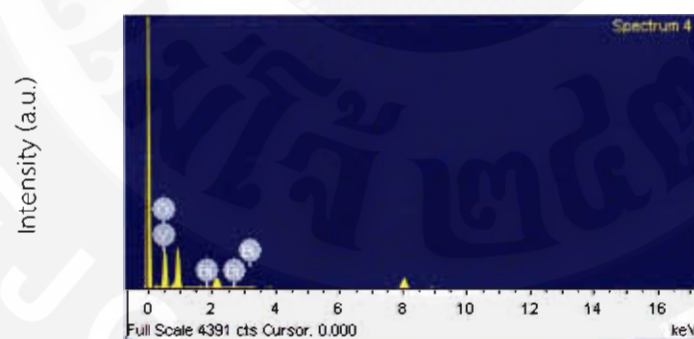
พบว่า ผงบิส്മัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิส്മัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิส്മัธ M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{γ} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์^[24] แสดงดังภาพที่ 19



(ก)



(ข)



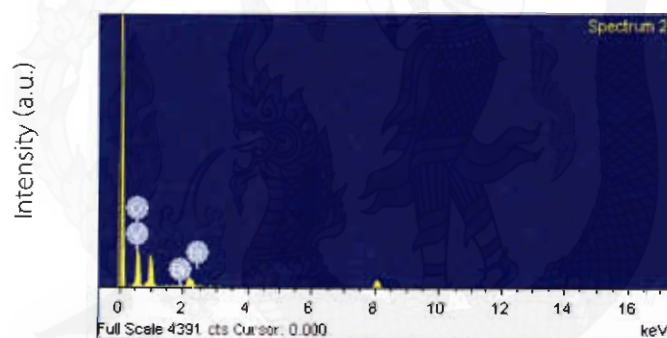
(ค)

ภาพที่ 19 EDS ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา

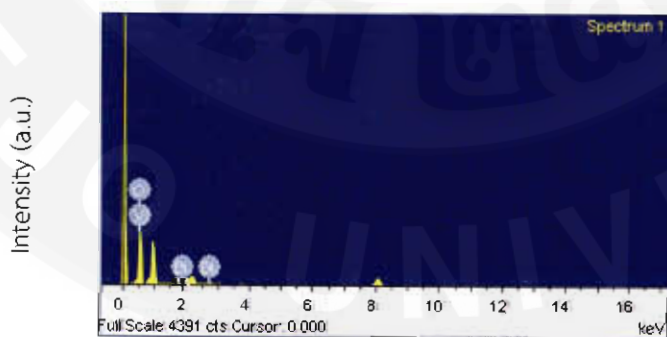
(ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

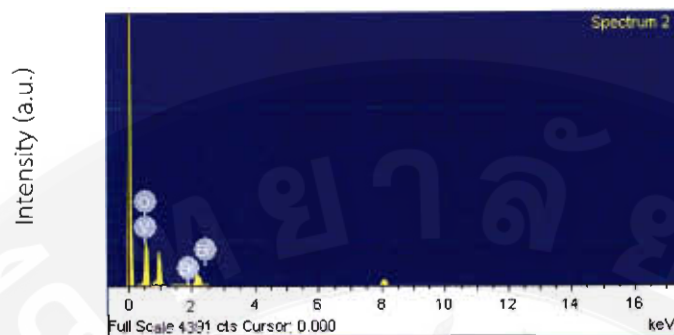
พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัท วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัท M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{γ} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์^[24] แสดงดังภาพที่ 20



(ก)



(ข)



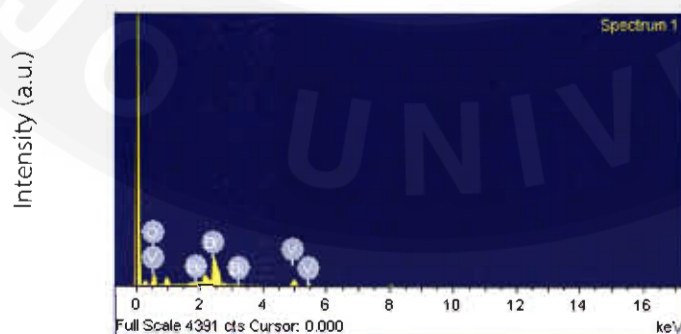
(ก)

ภาพที่ 20 EDS ของผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 700 วัตต์ เป็นเวลา

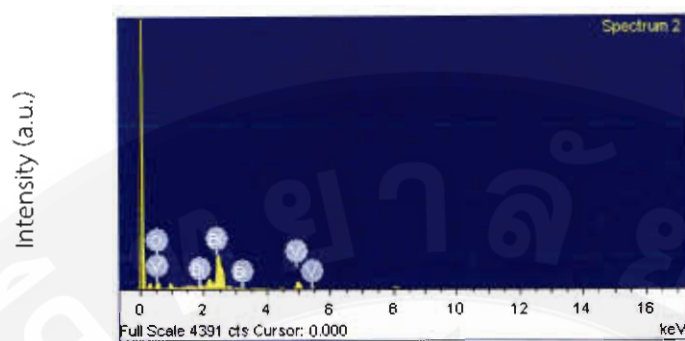
(ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การหาค่าประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ด้วยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

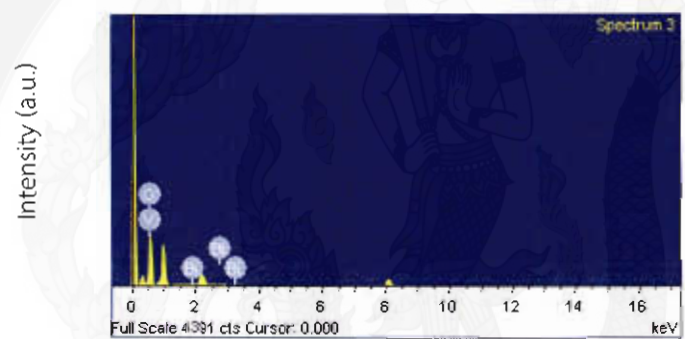
พบว่า ผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที มีองค์ประกอบของธาตุคือ บิสมัทธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัทธ M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ [24] แสดงดังภาพที่ 21



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 21 EDS ของผงบิสัรขวานาเคตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา

(ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทธวานาเคต โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว

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

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

ตารางที่ 7 ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทธวานาเคตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล

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

หมายเหตุ = ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

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

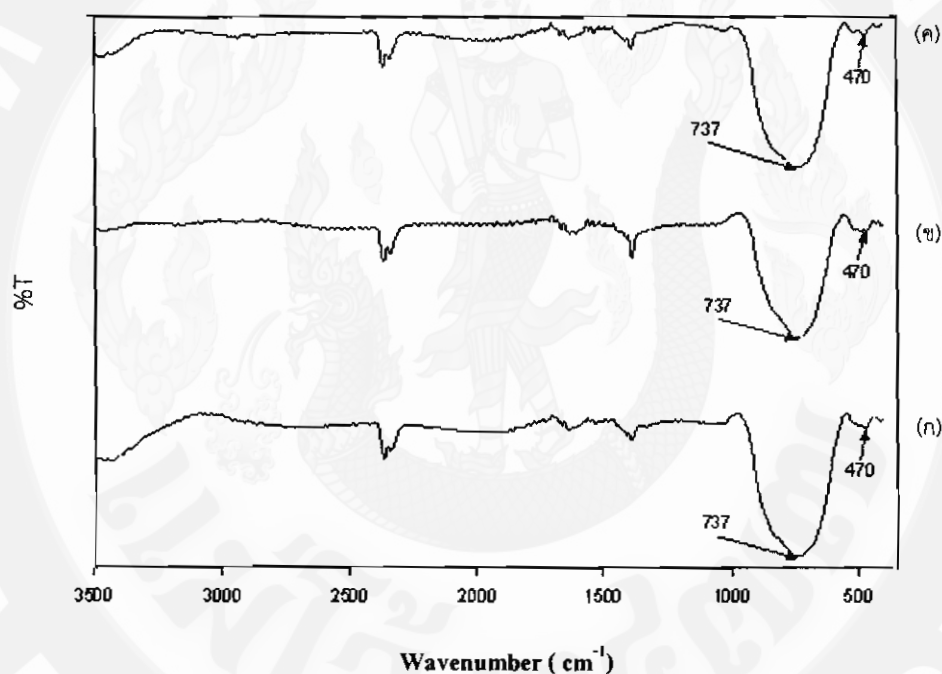
พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2-6 นาที มีปริมาณพื้นที่ผิวจำเพาะ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

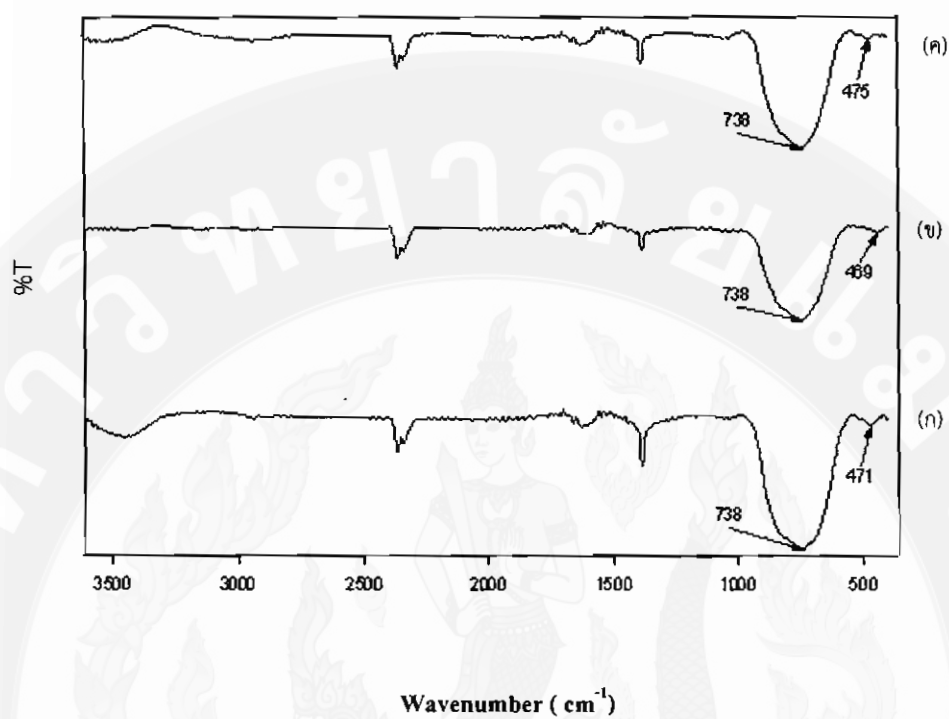
BiVO_4	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/g)	BET (C-constant)
600 Watt 2 min	19.58	205.80
600 Watt 4 min	19.86	207.70
600 Watt 6 min	17.96	48.21
700 Watt 2 min	21.13	154.20
700 Watt 4 min	17.72	205.10
700 Watt 6 min	14.28	184.70
850 Watt 2 min	23.93	199.50
850 Watt 4 min	20.80	177.40
850 Watt 6 min	14.40	138.90

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัทวานาเดต โดยเครื่องฟูรีเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์

จากการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง พบว่า พันธะของ Bi-O เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ $737\text{--}738\text{ cm}^{-1}$ พันธะของ VO_4^{3-} เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ $469\text{--}475\text{ cm}^{-1}$ [32] แสดงดังภาพที่ 22 และภาพที่ 23

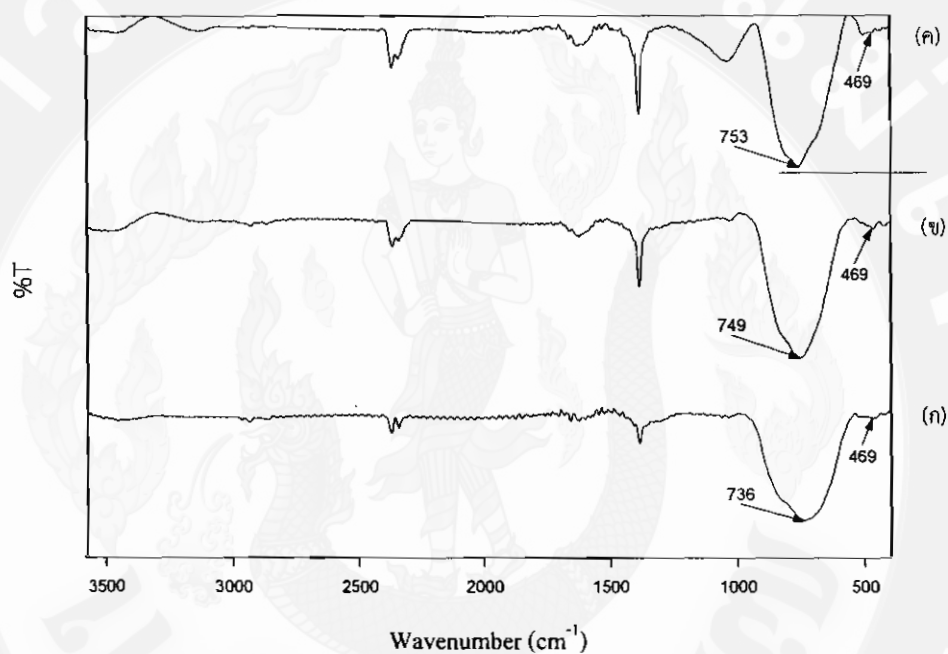


ภาพที่ 22 FTIR ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

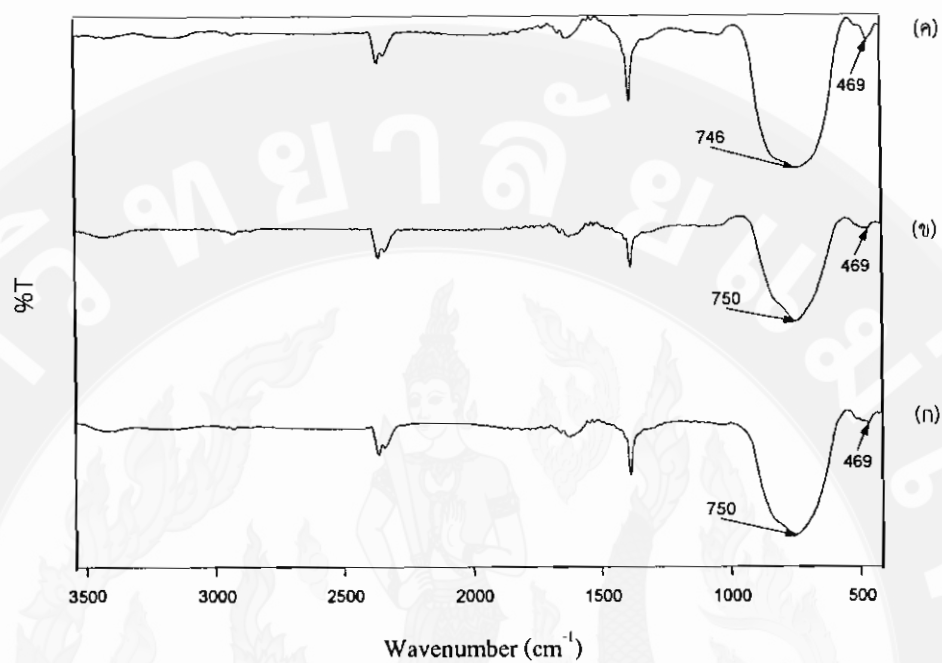


ภาพที่ 23 FTIR ของพหุบิสฟีนานาเดคที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอรัมอล ที่ 200 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา (ก) 2 ชั่วโมง (ข) 4 ชั่วโมง และ (ค) 6 ชั่วโมง

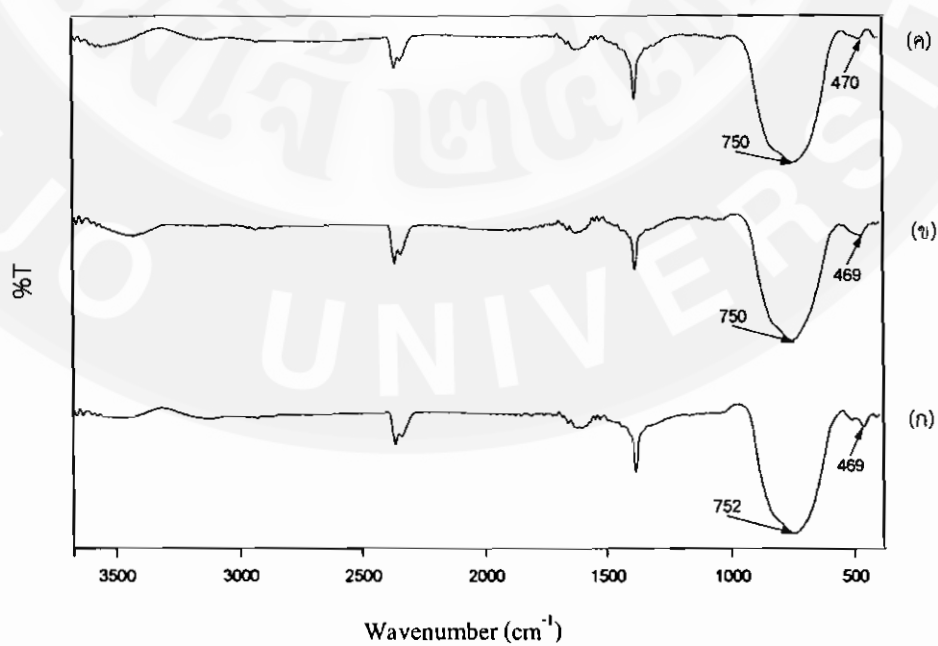
จากการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของผงบิสเมธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์เป็นเวลา 2-6 นาที พบว่าพันธะของ Bi-O เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 736-753 cm^{-1} พันธะของ VO_4^{3-} เกิดการสั่นที่เลขคลื่นเท่ากับ 469-470 cm^{-1} [32] แสดงดังภาพที่ 24-26



ภาพที่ 24 FTIR ของผงบิสเมธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600 วัตต์เป็นเวลา (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



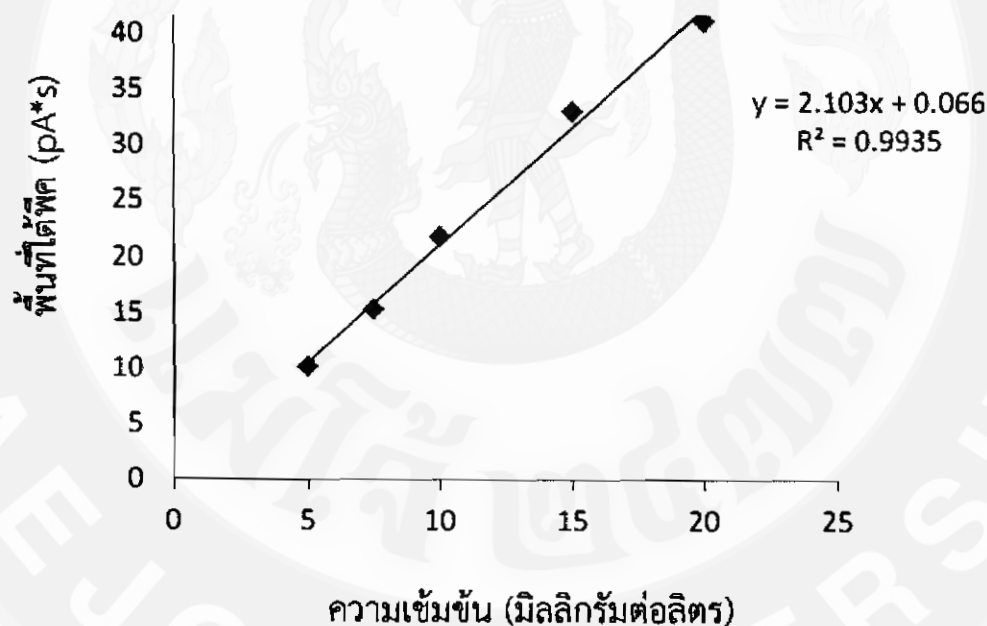
ภาพที่ 26 FTIR ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 850 วัตต์ เป็นเวลา
(ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดย
เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)

การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานฟีนอล พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5.0-20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากต้อง
ศึกษาการลดปริมาณลงของสารประกอบฟีนอล จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานในช่วงนี้ขึ้น

จากกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟีนอล พบว่า มีค่าความสัมพันธ์ดัง
สมการ $y = 2.103x + 0.066$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9935 แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟีนอล

การศึกษาสลายตัวของสารประกอบฟีนอลโดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์

เทอร์มอล

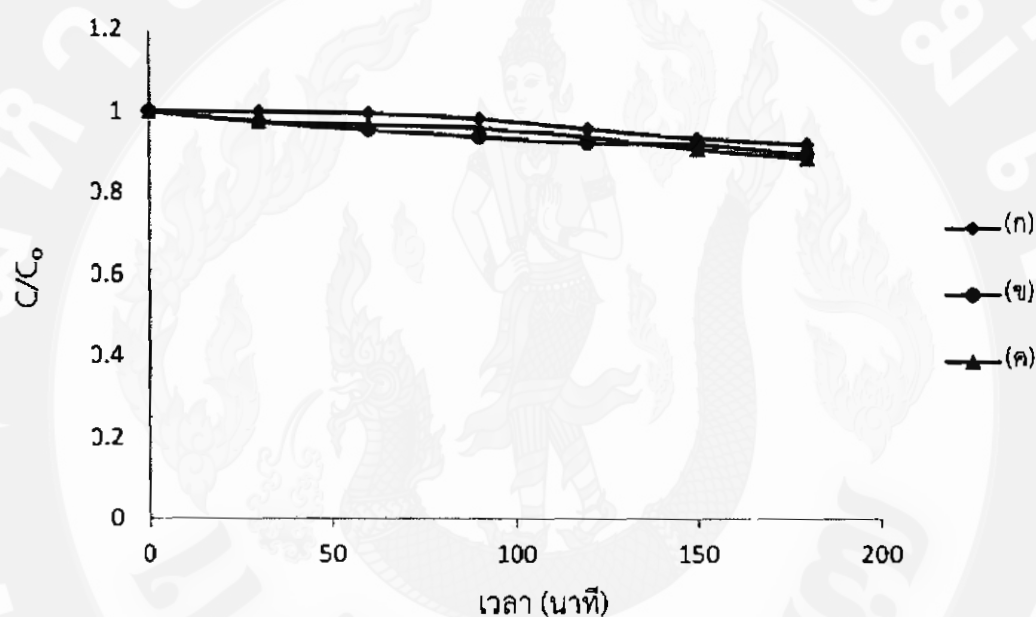
การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปีเปตสารละลายฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60,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

ตารางที่ 9 การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์

มอล

เวลา (นาที)	การสลายตัวของฟีนอล (C/C_0)		
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄
		100 °C	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 200 องศาเซลเซียส ที่ 100 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากผงบิสมัทวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอล เท่ากับ 11.74, 10.78 และ 8.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

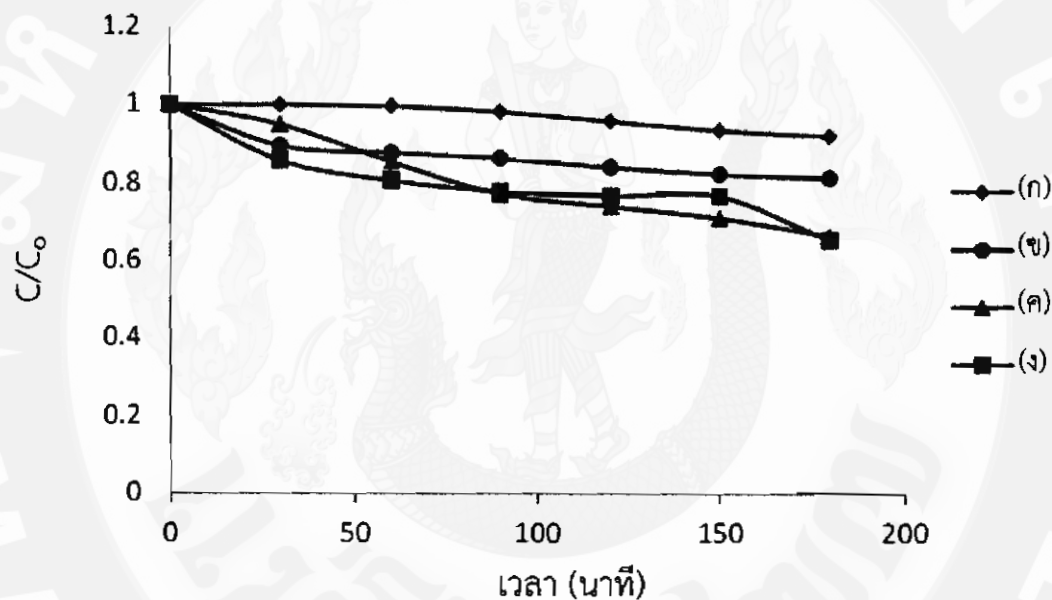
การศึกษาสลายตัวของสารประกอบฟีนอลโดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสถานะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดควิสิเบิล และเปิดสารละลายฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไฮโดรเจนไนโตรเจนดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 29

ตารางที่ 10 การสลายตัวของสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

เวลา (นาที)	การสลายตัวของฟีนอล (C/C_0)			
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄
		600 Watt	700 Watt	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัทวานาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบฟีนอล เท่ากับ 35.00, 33.91, 32.58 และ 19.08 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ได้จากการเตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทวานาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์

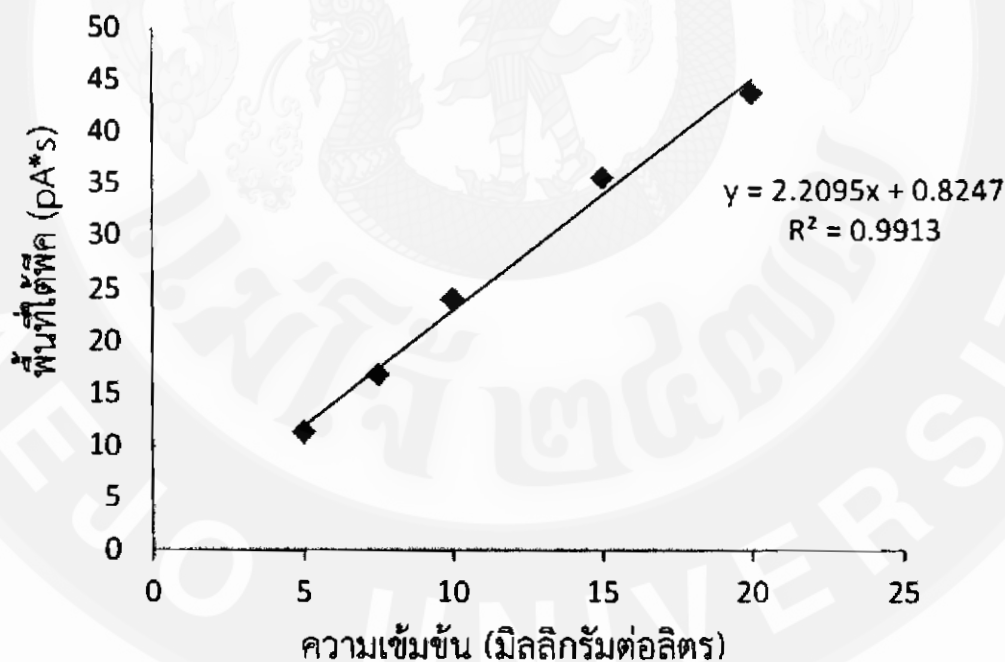
การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทนานาเดตในการกำจัดสารประกอบ

2-คลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)

การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์และการสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล พบว่า มีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5.0-20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และเนื่องจากต้อง ศึกษาการลดปริมาณลงของสารประกอบ 2- คลอโรฟีนอล จึงได้สร้างกราฟมาตรฐานในช่วงนี้ขึ้น

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



ภาพที่ 30 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน 2-คลอโรฟีนอล

การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัทนาเดที่เตรียมโดยวิธีโซ

เวอร์เทอร์มอล

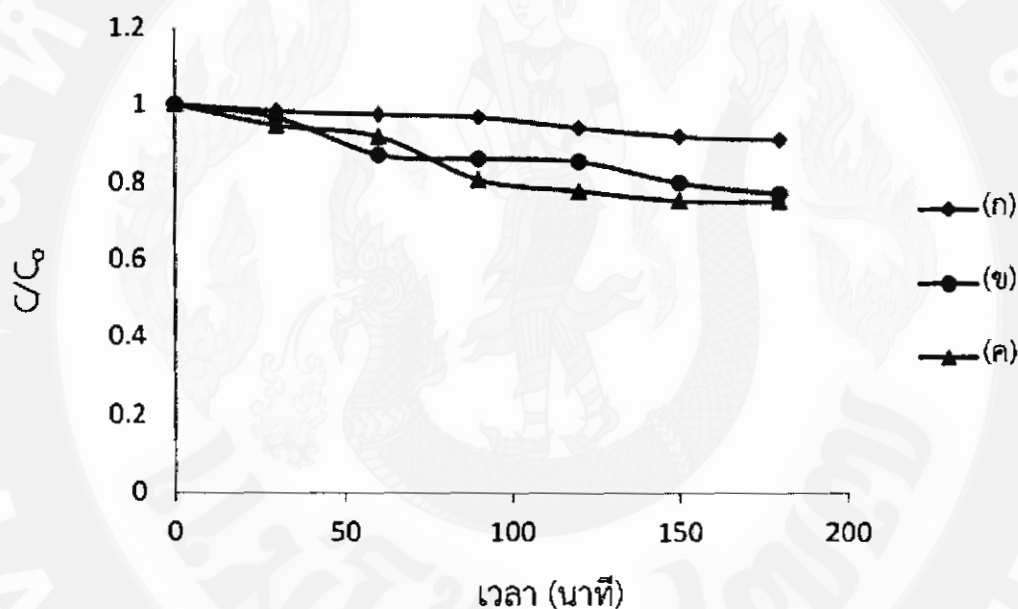
การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทนาเดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล และปีเปตสารละลาย 2-คลอโรฟีนอล มาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 11 และภาพที่ 31

ตารางที่ 11 การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์

เทอร์มอล

เวลา (นาที)	การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล (C/C_0)		
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄
		100 °C	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 200 องศาเซลเซียส ที่ 100 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากบิสมัทนาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล เท่ากับ 25.18 และ 23.21 และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียม โดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากผงบิสมัทนาเดต (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี

ไมโครเวฟ

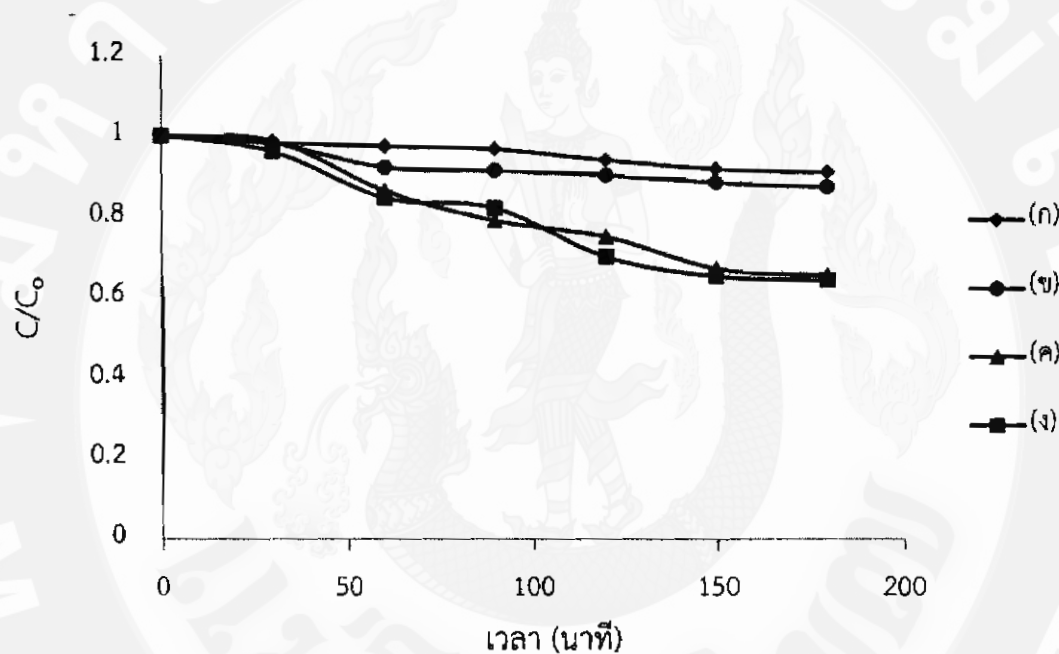
การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสถานะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปิเปตสารละลาย 2-คลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ พบว่าเมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ความเข้มข้นมีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 32

ตารางที่ 12 การสลายตัวของสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธี

ไมโครเวฟ

เวลา (นาที)	การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล (C/C_0)			
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄
		600 Watt	700 Watt	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่า ผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัทนาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล เท่ากับ 35.87, 34.66, 13.00 และ 9.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



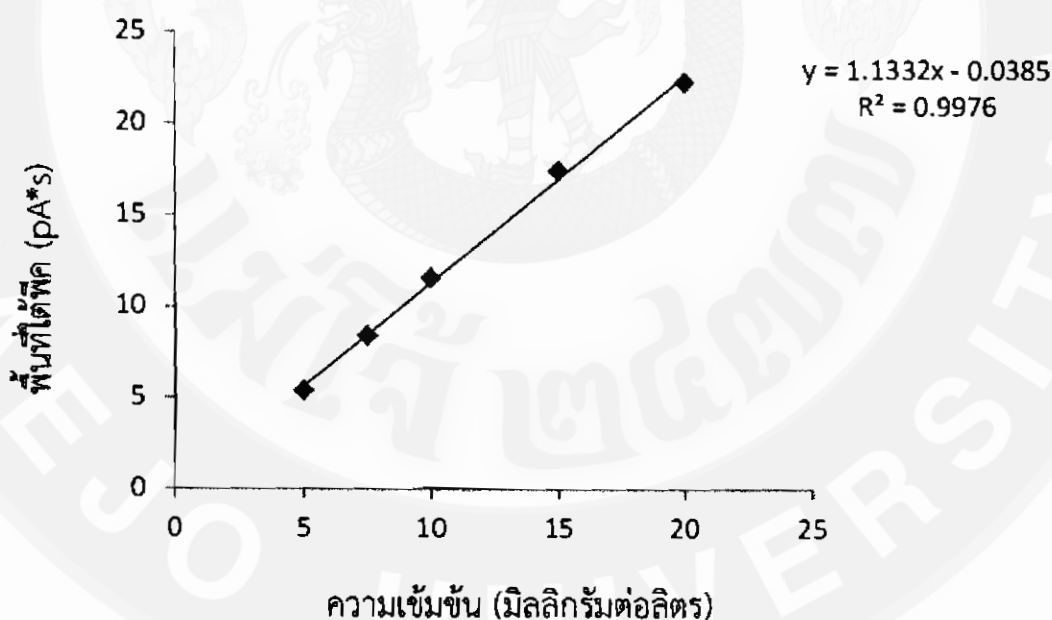
ภาพที่ 32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ในการกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทนาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) 850 วัตต์

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทนาเดตในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดฟลอมไฮอินเซชันดีเทกเตอร์ (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

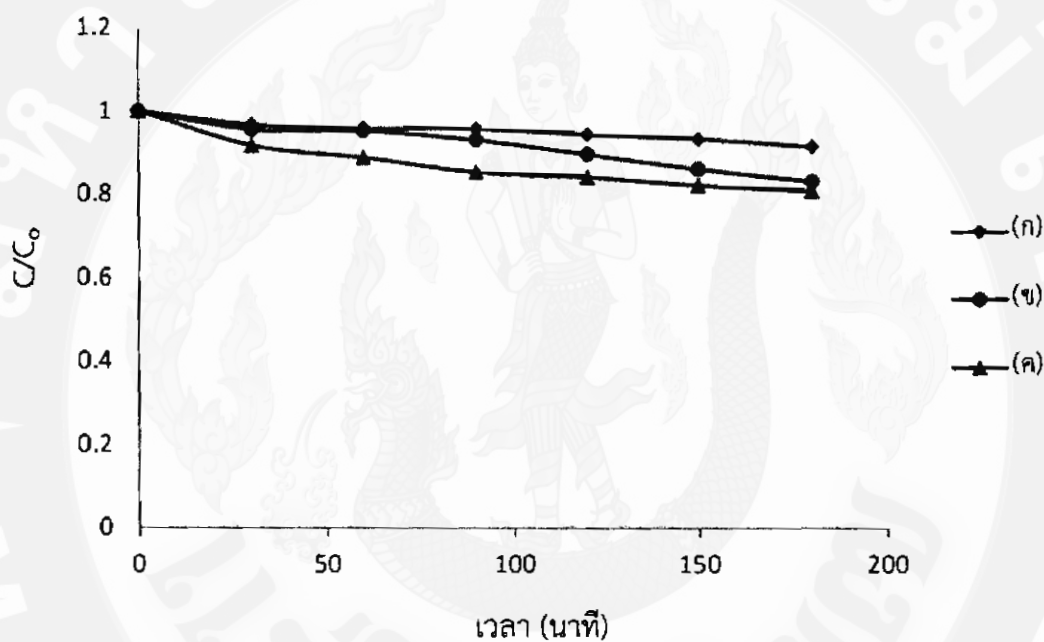
การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล และปิเปตสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมาครั้งละ 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 13 และภาพที่ 34

ตารางที่ 13 การสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียม โดยวิธี โซเวอร์เทอร์มอล

เวลา (นาที)	การสลายตัวของ 2-คลอโรฟีนอล (C/C_0)		
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	BiVO ₄
		100 °C	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทธวานาเดคปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัทธวานาเดคมาตรฐาน ผงบิสมัทธวานาเดคที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไฮเวอร์เทอร์มอล 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 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทธวานาเดคที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไฮเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทธวานาเดค (ข) 100 องศาเซลเซียส และ (ค) 200 องศาเซลเซียส

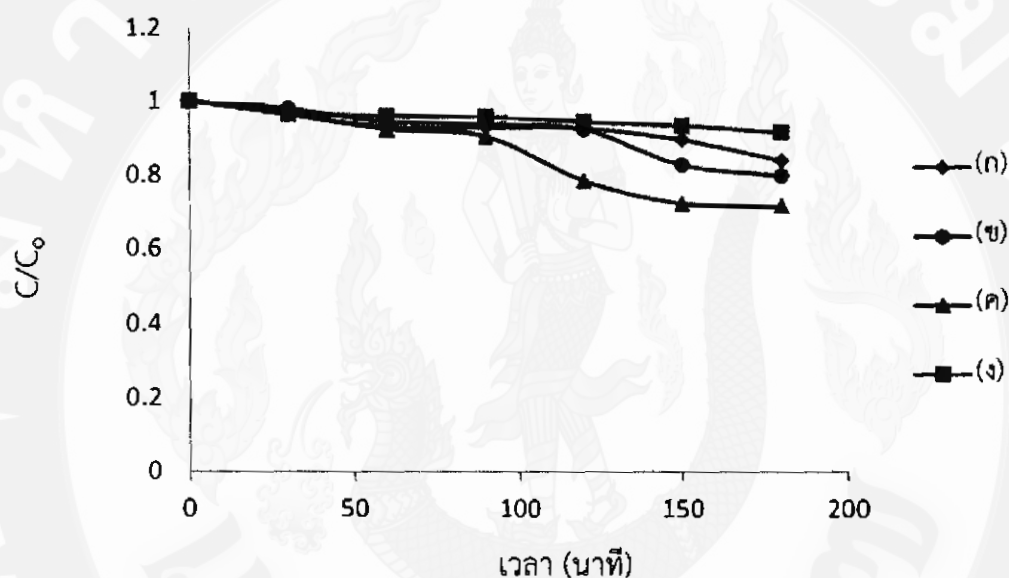
การศึกษาสลายตัวของสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอลโดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2 นาที ทำการศึกษาการดูดซับในสถานะที่มีแสงโดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิลและปิเปตสารละลาย 2,4-ไดคลอโรฟีนอลมาครั้งละ 10 มิลลิลิตร จากนั้นเติม internal standard ครั้งละ 5 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30, 60, 90, 120, 150 และ 180 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออนในเซชันคิเทคเตอร์ 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	BiVO ₄	BiVO ₄
		600 Watt	700 Watt	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 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตปริมาณ 0.10 กรัม เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที พบว่าผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 850 วัตต์ ที่กำลัง 700 วัตต์ ที่กำลัง 600 วัตต์ และที่ปราศจากบิสมัทนาเดต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล เท่ากับ 28.41, 20.26, 16.27 และ 8.73 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C/C_0 และเวลาของกระบวนการปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการกำจัดสารประกอบ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยผงบิสมัทนาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟเป็นเวลา 2 นาที ที่ (ก) ปราศจากบิสมัทนาเดต (ข) กำลัง 600 วัตต์ (ค) กำลัง 700 วัตต์ และ (ง) กำลัง 850 วัตต์

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

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

จากการทดสอบหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทกเตอร์ (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 โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไฮดรותרมอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต ในอัตราส่วนโดยโมลเท่ากับ 1:1 ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไฮดรותרมอล มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDSหมายเลข 14-0688^[30]

จากงานวิจัยของ Jing Bing Liu และคณะ^[15] ได้ทำการศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยวิธีไฮดรותרมอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรท วานาเดียมออกไซด์ (V_2O_5) และ โซเดียมวานาเดต ($NaVO_3$) สารละลายถูกผสมด้วยกันตามอัตราส่วน Bi/V เป็น 1 ซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 2.0 และ 5.0 ตามลำดับ จากนั้นทำการปรับค่า pH โดย 1M สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 7 แล้วผสมในภาชนะที่เป็น Teflon-lined stainless autoclave ปริมาตร 50 มิลลิลิตรและให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100-200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อนำผงบิสมัธวานาเดต ทำการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ พบว่า มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต 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 เมื่อกำหนดหาเปอร์เซ็นต์ส่วนประกอบของโมโนคลินิกและเตตระโกนอล พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ผงบิสมัธวานาเดตมีส่วนประกอบของเฟสโมโนคลินิกลดลง

การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต 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 2.0-2.5 ไมโครเมตร 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 ที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล และวิธีไมโครเวฟ ทั้ง 2 วิธี ดังกล่าว มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เล็กกว่าอนุภาคของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล^[24]

การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโตรมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต 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 พบว่าผงบิสมัทวานาเดียมมีองค์ประกอบของธาตุ บิสมัท วานาเดียม และ ออกซิเจน โดยที่ระดับพลังงานของบิสมัท M_{α} เท่ากับ 2.43 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{α} เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_{β} เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน L_{γ} เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม K_{α} เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน K_{α} เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ Pookmanee และคณะ^[24] ได้ทำการศึกษาลักษณะของผงบิสมัทวานาเดียม ที่สังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารตั้งต้น คือ บิสมัทไนเตรตเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดียม โดยใช้อัตราส่วนโมลเป็น 1:1 นำสารละลายมาผสมกันแล้วปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งได้ pH = 7 จากนั้นให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ทำการหาองค์ประกอบของบิสมัทวานาเดียม โดยเครื่องวิเคราะห์หาพลังงานเอกซเรย์ ทางสเปกโทรสโคปี พบว่าผงบิสมัทวานาเดียม ประกอบไปด้วย บิสมัท วานาเดียมและออกซิเจน ตามลำดับ

การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดียม โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว

ผงบิสมัทวานาเดียมที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัทไนเตรตเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดียม 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

ผงบิสมัทวานาเดียมที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัทไนเตรตเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดียม 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

ผงบิสมัทวานาเดียมที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัทไนเตรตเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดียม 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 บิสมัธไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต 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 โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)

ผงบิสมัธวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอลและวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรทเพนตะไฮเดรตและแอมโมเนียมวานาเดต 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 คมเชนติเมตร และ 809-830 คมเชนติเมตร มีการสั่นของพันธะ V-O stretching ในช่วงคลื่น 729-743 คมเชนติเมตร และมีการสั่นของพันธะ Bi-O bending ในช่วงคลื่น 623-650 คมเชนติเมตร

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล 2-คลอโรฟีนอลและ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID)

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยการเตรียมสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซลเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส และที่ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต ปริมาณ 0.10 กรัม ซึ่งจะกระจายตัวในสารละลายแล้ว ทำการกวนสารละลายในอัตราเร็วคงที่ ทำการศึกษาการดูดซับในสภาวะที่มีแสง โดยอาศัยแสงจากหลอดวิสิเบิล จำนวน 1 หลอด และทำการเก็บสารละลายทุกๆ 30 นาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้น

นำสารละลายไปทดสอบด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ พบว่า เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าความเข้มข้นของสารประกอบฟีนอลลดลง

จะเห็นว่าในแต่ละช่วงเวลาในการทำปฏิกิริยา ส่งผลให้อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นที่เวลาใดๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้น (C/C_0) ของแต่ละปริมาณบิสมัทวานาเดตที่ใช้ มีการเปลี่ยนแปลง ในแนวโน้มที่ลดลง

ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ที่ 200 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด และพบว่า ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียสเมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

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

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

การศึกษปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ในการกำจัดสารประกอบฟีนอล โดยการเตรียมสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่มีผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เป็นเวลา 2 นาที ที่กำลัง 600, 700, 850 วัตต์ และที่ปราศจากผงบิสมัทวานาเดต 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) ของแต่ละปริมาณบิสมัทวานาเคตที่ใช้ มีการเปลี่ยนแปลงในแนวโน้มที่ลดลง

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

จากงานวิจัยของ Zhijie Zhang และคณะ^[31] ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของโรดามีนบี (Rhodamine B, RhB) และฟีนอล โดยผงบิสมัทวานาเคตที่เตรียมได้จากวิธีการเผาไหม้สารละลาย (Solution combustion) พบว่า ปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์ของผงบิสมัทวานาเคต มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบอะโรมาติก และการลดปริมาณคาร์บอนของสารอินทรีย์ (TOC) และสามารถย่อยสลายฟีนอลได้ 92.40 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 150 นาที

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

จากการหาปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในน้ำตัวอย่างธรรมชาติ จากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง ได้แก่ แปลงผัก นาข้าว และคลองชลประทาน โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) พบว่า ตรวจวัดไม่พบปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 3 แหล่ง

สรุปผลการวิจัย

การตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัทวานาเดต โดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์

ผงบิสมัทวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล มีโครงสร้างเป็นแบบโมนอกลิติก

ผงบิสมัทวานาเดตที่สามารถเตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ มีโครงสร้างเป็นแบบโมนอกลิติกและเตตระโกนอล

การตรวจสอบลักษณะฐานวิทยาของผงบิสมัทวานาเดต โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

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

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

การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผงบิสมัทวานาเดต โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานทางสเปกโตรมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)

ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 4 และ 6 ชั่วโมง และวิธีไมโครเวฟ ที่กำลัง 600-850 วัตต์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่ามีองค์ประกอบของธาตุ บิสมัท วานาเดียม และออกซิเจน

การศึกษาปริมาณพื้นที่ผิวของผงบิสมัทวานาเดต โดยเครื่องวัดพื้นที่ผิว

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

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

ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ 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 โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ (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 และ พันธะ Bi-O bending ของ BiVO_4

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

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 200 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวมากที่สุด และพบว่า บิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีโซเวอร์เทอร์มอล ที่ 100 และ 200 องศาเซลเซียส เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอลได้มากที่สุด

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

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

ไมโครเวฟ ที่กำลัง 600, 700 และ 850 วัตต์ เมื่อทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิติกส์จะสามารถกำจัดสารประกอบ 2-คลอโรฟีนอล ได้มากที่สุด

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 โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ ชนิดเฟลมไอออไนเซชันดีเทคเตอร์ (GC-FID) พบว่า ตรวจวัดไม่พบปริมาณฟีนอล 2-คลอโรฟีนอล และ 2,4-ไดคลอโรฟีนอล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติทั้ง 3 แหล่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมทิพย์ คำนวณวิชช์ และคณะ, *คุณภาพน้ำและการจัดการ (Water Quality and Management)*, โรงพิมพ์จอยพริ้นท์; สงขลา, 2553, หน้า188-189.
- [2] อศิธร จตุรพิริย์, *การสลายตัวด้วยโฟโตแคตาไลติกของสารประกอบโครีฟีนอล โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบเพที่มีกรรมนวนเวียน*, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [3] Verschuere, K., *Handbook of Environmental Data Organic Chemistry*. 3rd ed., Nashville: Thomson Publishing, 1996.
- [4] ฟีนอล. <http://wtlite.nist.gov/cgi-bin/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 aqueous 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 tetragonal 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 ^{209}Bi 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 โสภอารีย์. การใช้กระบวนการแสงอาทิตย์-โฟโตแคตาไลติก สำหรับปฏิกรณ์แบบชั้นบันไดในการบำบัดสารเมทิลินบลูในน้ำเสีย. 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 ตู่ประภาส. พื้นฐานกระบวนการโฟโตแคตาไลซิส. <http://www.engrui.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 $\text{TiO}_2/\text{SnO}_2$ 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-Environ.*, 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 irradiation. *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 degradation of rhodamine B and phenol by solution combustion synthesized BiVO_4 photocatalyst. *Catal. Commun.*, 2010, **11**, 982-986.