



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดย
วิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารกำจัดแมลงเมทโธมิล
จากแหล่งน้ำธรรมชาติ

The study of photocatalytic of bismuth vanadate powder prepared by
microwave method for degradation of methomyl insecticide
from natural water source

โดย

ภูสิต ปุณณ และ จิราภรณ์ กิติกุล

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2557

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-56-015



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ
เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารกำจัดแมลงเมทโทมิลจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

The study of photocatalytic of bismuth vanadate powder prepared by microwave
method for degradation of methomyl insecticide from natural water source

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย

ประจำปี 2556

จำนวน 348,500 บาท

หัวหน้าโครงการ

ภูสิต ปุณณ

ผู้ร่วมโครงการ

จิราภรณ์ กิติกุล

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

30/ก.ย./2557

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารกำจัดแมลงเมทโทมิลจากแหล่งน้ำธรรมชาติ (The study of photocatalytic of bismuth vanadate powder prepared by microwave method for degradation of methomyl insecticide from natural water source) ได้สำเร็จลุล่วง โดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปี 2556

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่การสนับสนุน อนุเคราะห์การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์และสถานที่ ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ บุคลากร สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่อำนวยความสะดวกทางด้านอุปกรณ์และสารเคมี รวมทั้งช่วยประสานงานในด้านเอกสารงานราชการ ในการติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
สารบัญ	๖
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	18
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
การตรวจเอกสาร	19
อุปกรณ์และวิธีการ	21
ผลการวิจัย	28
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย	45
เอกสารอ้างอิง	49



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช ปี 2545-2552	3
ตารางที่ 2	สมบัติทางกายภาพของบิสมัทวานาเดต	7
ตารางที่ 3	การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมวัสดุโพโตแคตาไลติกส์	12
ตารางที่ 4	สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	21
ตารางที่ 5	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	22
ตารางที่ 6	สภาวะการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง	26
ตารางที่ 7	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลีนิกกับเตตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที	29
ตารางที่ 8	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลีนิกกับเตตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที	31
ตารางที่ 9	สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลีนิกกับเตตระโกนอลของ ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที	32
ตารางที่ 10	การสลายตัวของสารเมทโรมิล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่ เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ	43

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 โครงสร้างโมโนคลินิกของบิสมัธวานาเดต	6
ภาพที่ 2 กลไกการเกิดคลื่นไมโครเวฟ	11
ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของเมทโซมิล (Metholmyl)	13
ภาพที่ 4 ปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์และโฟโตเคมี	15
ภาพที่ 5 กลไกการกำจัดคลอโรฟีนอล ด้วยปฏิกริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ของบิสมัธวานาเดต ภายใต้การฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต	16
ภาพที่ 6 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	29
ภาพที่ 7 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	30
ภาพที่ 8 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	32
ภาพที่ 9 SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	34
ภาพที่ 10 SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	35
ภาพที่ 11 SEM ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	36
ภาพที่ 12 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	37
ภาพที่ 13 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	38
ภาพที่ 14 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที	39
ภาพที่ 15 รูป EDS ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียม โดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 และ (ข) 6 นาที	40

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 16	กราฟมาตรฐานสารละลายเมทโรมิล	41
ภาพที่ 17	การสลายตัวของสารละลายเมทโรมิลโดยผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา (ก) ปราศจากผงบิสมัทวานาเดต (ข) 2 นาที และ (ค) 6 นาที	42



การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของสารกำจัดแมลงเมทโธมิลจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

**The study of photocatalytic of bismuth vanadate powder prepared by microwave
method for degradation of methomyl insecticide from natural water source**

ภูสิต ปุกมณี จิราภรณ์ กิติกุล

Pusit Pookmanee Jiraporn Kitikul

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

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

บทคัดย่อ

การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เป็นเวลา 2 และ 6 นาที สารตั้งต้นที่ใช้คือ บิสมัธไนเตรด เพนตะไฮเดรต แอมโมเนียมวานาเดต และ 2-โพรพานอล ได้ผงละเอียดสีเหลืองและทำการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการศึกษาโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (XRD) พบว่า มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า มีรูปร่างอนุภาคที่ไม่แน่นอน และมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.1-0.3 ไมโครเมตร การศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ (EDS) พบว่า ประกอบด้วยธาตุบิสมัธ ธาตุวานาเดียม และธาตุออกซิเจน ตามลำดับ ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FTIR) พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันของ Bi-O และ VO_4^{3-} การศึกษาการสลายตัวเมทโธมิล โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่า ผงบิสมัธวานาเดต ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของเมทโธมิลได้สูงที่สุด

คำสำคัญ: ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ผงบิสมัธวานาเดต วิธีไมโครเวฟ เมทโธมิล

ABSTRACT

Bismuth vanadate (BiVO_4) powder was prepared by microwave method irradiation power at 600 Watt for 2 and 6 min. Bismuth nitrate pentahydrate, ammonium metavanadate and 2-propanol were used as the starting precursors. The fine yellow powder was obtained and dried at 100°C for 24h. The structure of BiVO_4 powder was determined by X-ray diffractometer (XRD). Multi-phase of monoclinic and tetragonal phase was obtained without calcination step. Morphology of BiVO_4 powder was investigated by scanning electron microscope (SEM). The particle was irregular in shape with the range of particle size of 0.1-0.3 μm . The element composition of BiVO_4 powder was indicated by energy dispersive X-ray spectrometer (EDS). The characteristic X-ray radiation of each element had different energy values; bismuth, vanadium and oxygen, respectively. The function group of BiVO_4 powder was investigated by Fourier transform infrared (FTIR). The vibration of Bi-O and VO_4^{3-} was obtained. The degradation of methomyl was studied onto BiVO_4 powder prepared by microwave method by high performance liquid chromatograph (HPLC). It was found that BiVO_4 powder prepared by microwave method irradiation power at 600 Watt for 2 min with the amount of 0.1000 g was the highest photodegradation efficiency of methomyl.

Key words: Photocatalytic, bismuth vanadate powder, microwave method, methomyl

คำนำ

ที่มาและความสำคัญ^[1-10]

ปัจจุบันสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides) ได้ถูกนำมาใช้ในด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร โดยนำมาใช้ป้องกันแมลงและศัตรูพืชต่างๆ เพื่อมิให้ศัตรูพืชได้ทำลายผลผลิตทางการเกษตร ดังนั้นสารดังกล่าว จึงมีผลกระทบต่อเกษตรกรและระบบสิ่งแวดล้อม โดยอาจจะมีการตกค้าง การสะสมและการปนเปื้อน สารดังกล่าวทั้งในแหล่งน้ำธรรมชาติ บริเวณพื้นดินและในบรรยากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการเจริญของพืช สัตว์ และมนุษย์ โดยกลุ่มที่มีความเสี่ยงมากที่สุด คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ใช้สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์

จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (Office of Agricultural Economics) พบว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันเกษตรกรชาวไทยนิยมใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นจำนวนมาก คูได้จากข้อมูลตั้งแต่ปี 2545-2552 ปริมาณการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช ปี 2545-2552

ปี	สารกำจัดแมลง (Insecticide)		สารป้องกันและกำจัดโรคพืช (Fungicide)		สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)		อื่นๆ		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2545	9,046	2,931	5,681	1,444	22,670	4,349	2,237	392	39,634	9,116
2546	9,790	3,136	6,732	1,678	31,879	6,101	1,930	426	50,331	11,341
2547	16,731	2,835	10,108	1,719	55,649	6,080	4,417	502	86,905	11,135
2548	18,529	3,322	9,052	1,716	48,841	5,806	3,744	516	80,166	11,360
2549	20,487	3,856	9,383	1,722	62,129	6,821	3,764	499	95,763	12,899
2550	21,590	3,746	10,626	1,833	79,239	8,914	4,869	533	116,323	15,026
2551	25,332	4,577	11,255	2,537	68,825	11,487	4,497	580	109,908	19,182
2552	19,709	3,972	8,485	2,968	85,821	9,338	4,137	537	118,152	16,816

หมายเหตุ :

1. อื่นๆ ได้แก่ สารชีวอินทรีย์กำจัดแมลง สารกำจัดไร สารกำจัดหนู สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารกำจัดหอยและหอยทาก สารรมควั่นพืช สารกำจัดไส้เดือนฝอย และอื่นๆ

2. ปี 2546 ยังไม่รวมสารกำจัดศัตรูพืชจำพวกจุลินทรีย์ ปริมาณ 127 ตัน มูลค่า 39 ล้านบาท
3. ปริมาณ: ตันของสารออกฤทธิ์
4. มูลค่า: ล้านบาท

สารกำจัดศัตรูพืช แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม ตามชนิดของการใช้งาน คือ

1. สารกำจัดแมลง (Insecticides)
2. สารกำจัดวัชพืช (Herbicides)
3. สารกำจัดหนู (Rodenticides)
4. สารกำจัดเชื้อรา (Fungicides)
5. สารกันแมลง (Insect repellants)

สารกำจัดแมลง (Insecticides) แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม คือ

1. ออร์กาโนฟอสเฟต (Organophosphates)
2. ออร์กาโนคลอรีน (Organochlorines)
3. คาร์บาเมต (Carbamate)
4. ไพรีทรอยด์ (Pyrethroids)

เมทโธมิล (Methomyl) เป็นสารกำจัดแมลง กลุ่มคาร์บาเมต ซึ่งมีการนิยมนำใช้กันอย่างมากในประเทศไทย มีฤทธิ์ในการกำจัดพวกแมลงและไร ลักษณะการทำลายศัตรูพืชของเมทโธมิล จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สัมผัสตัวตายและทำให้เป็นพิษต่อกระเพาะอาหาร ซึ่งถ้าได้รับยาดังกล่าวโดยตรงจากการกินจะทำให้แมลงดังกล่าวตายได้ ดังนั้นเมทโธมิล จึงเป็นสารเคมีกำจัดแมลงที่นิยมของเกษตรกรไทย นำมาใช้เพื่อป้องกันและกำจัดแมลงศัตรูพืช ทั้งผลไม้ ผัก ฝ้าย ยาสูบ และพืชผักอีกหลายชนิด การใช้เมทโธมิลในปริมาณที่มาก จะทำให้เกิดการสะสม สารพิษดังกล่าวในระบบสิ่งแวดล้อม ทั้งในดินและแหล่งน้ำธรรมชาติ

การกำจัดเมทโธมิล ที่เกิดจากกระบวนการน้ำชะล้างหน้าดินหรือน้ำใต้ดินจากการทำการเกษตรและการใช้สารกำจัดแมลง ได้มีการใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไป (Conventional treatment) แต่ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของเมทโธมิล นี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียขั้นสูง มาใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนเมทโธมิล เช่น กระบวนการดูดติดถ่านกัมมันต์ (Activated carbon absorption) แต่พบว่า มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ดีกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ยังมีขีดจำกัด คือ ถ่านกัมมันต์จะมี

ความสามารถในการดูดซับถึงจุดสูงสุดและไม่สามารถดูดซับได้อีกต่อไป เนื่องจากพื้นที่ผิวของการดูดซับถูกใช้ไปหมดแล้ว ถ้าต้องการนำกลับมาใช้ใหม่จะมีค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพถ่านกัมมันต์ให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับอีกครั้งหนึ่งที่สูงมาก (Regenerate)

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาและใช้กันแพร่หลาย สำหรับการบำบัดสารพิษอันตราย รวมไปถึงเมทโรมิด คือ ปฏิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic) ซึ่งเป็นการฉายแสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet) หรือแสงวิสิเบิล (Visible) ใช้ในการกระตุ้นให้อนุภาคของสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ให้ปลดปล่อยอนุภาครีดิคัล (Radical) สามารถทำลายพันธะของเมทโรมิด โดยพบว่า การใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาหรือแคตาไลสต์ (Catalyst) สามารถเพิ่มอัตราการเกิดสลายตัวของเมทโรมิด ได้มากกว่าการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิลเพียงอย่างเดียว

สำหรับการใช้ตัวออกซิไดซ์ต่างๆ เช่น โอโซน (O_3) หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ก็สามารถทำลายเมทโรมิด แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่ากรณีข้างต้น ถึงแม้ว่าถ้ามีการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับตัวออกซิไดซ์ จะมีประสิทธิภาพดีขึ้นบ้าง แต่ราคาค่าต้นทุนของโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ มีราคาที่สูงมาก โดยเฉพาะในการใช้งานกับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและปริมาณการปนเปื้อนของสารพิษมีไม่มากนัก

ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ อาศัยการใช้แสงอัลตราไวโอเลตหรือแสงวิสิเบิล ร่วมกับสารกึ่งตัวนำ จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจในปัจจุบัน เนื่องจาก เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้กำจัดสารพิษต่างๆ ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งยังสามารถย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากแหล่งน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

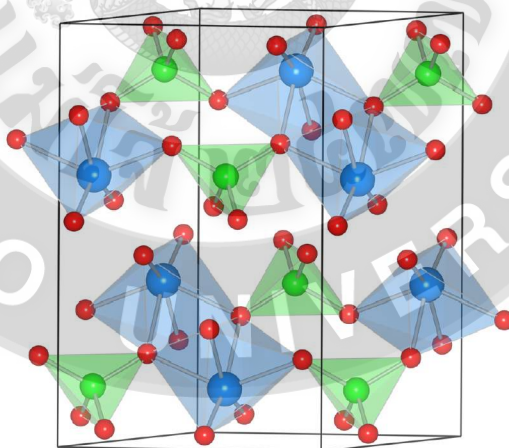
สำหรับงานวิจัยนี้ จะได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเวฟ เพื่อใช้ในการสลายตัวของเมทโรมิด ในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม สำหรับผงบิสมัทวานาเดตนี้ สามารถถูกกระตุ้นด้วยแสงวิสิเบิล ในการเกิดอนุภาครีดิคัลได้ เนื่องจากกระยะห่าง (Energy gap) ระดับพลังงานของอิล็กตรอน (Valance band) กับระดับการนำไฟฟ้า (Conduction band) มีค่าต่ำ จึงสามารถใช้แสงวิสิเบิลที่มีพลังงานต่ำกว่าแสงอัลตราไวโอเลต มากระตุ้นให้เกิดรีดิคัลได้ จึงเป็นข้อได้เปรียบสำหรับการประยุกต์ใช้ในการ

สลายตัวของเมทโรมิล ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งต้นทุนราคาของแหล่งกำเนิดแสงมีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนในการประดิษฐ์ต้นแบบของงานวิจัยนี้ได้

บิสมัธวานาเดต (Bismuth vanadate, BiVO_4)^[11, 12]

บิสมัธวานาเดต ประกอบด้วยอะตอมบิสมัธหนึ่งอะตอม วานาเดียมหนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม แสดงดังภาพที่ 1 โดยอะตอมสีฟ้าคือ บิสมัธ อะตอมสีเขียวคือ วานาเดียม และอะตอมสีแดง คือ ออกซิเจน น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 395.92 กรัมต่อโมล เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติเป็นเฟอร์โรอิเล็กทริก ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีลักษณะเป็นผงสีขาว สามารถย้อมติดสีได้ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์

บิสมัธวานาเดตจะมีโครงสร้างของผลึกอยู่ 3 ชนิด คือ โมโนคลินิก (Monoclinic) แบบชีไลท์ (Sheelite) เตตระโกนอล (Tetragonal) แบบชีไลท์ (Sheelite) และเตตระโกนอล (Tetragonal) แบบเซอร์คอน (Zircon) ซึ่งสามารถสังเคราะห์บิสมัธวานาเดตโครงสร้างผลึกโมโนคลินิกได้ในกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูง ส่วนโครงสร้างผลึกแบบเตตระโกนอลได้จากกระบวนการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมโนคลินิกของบิสมัธวานาเดต^[13]

โดยอะตอมสีฟ้า คือ บิสมัธ

อะตอมสีเขียว คือ วานาเดียม

และอะตอมสีแดง คือ ออกซิเจน

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของบิสมัธวานาเดต

ชื่อ	บิสมัธวานาเดต
สูตรโมเลกุล	BiVO_4
น้ำหนักโมเลกุล	395.92 กรัมต่อโมล
สี	เหลือง
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ลักษณะ	ของแข็ง
โครงสร้างผลึก	เฮกซะ โกนอล เตตระ โกนอล และ โมโนคลินิก
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	7-8
ความหนาแน่น	5.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	1000 องศาเซลเซียส
ค่าการดูดซับน้ำมัน	18 เปอร์เซนต์

การเตรียมสารบิสมัธวานาเดต

การเตรียมสารบิสมัธวานาเดตสามารถทำได้โดยวิธีทางเคมีหลายวิธีด้วยกัน นักวิจัยหลายๆ ท่านมุ่งสนใจในการออกแบบวิธีการเตรียมในทางที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ มีวิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีการเตรียมในสถานะของแข็ง (Solid state reaction)

วิธีการเตรียมในสถานะของแข็ง^[14] เป็นวิธีการเตรียมสารอิเล็กทรอนิกส์แบบดั้งเดิมบางครั้งเรียกว่า กระบวนการออกไซด์ผสม (mixed oxide process) นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเตรียมง่าย เริ่มจากนำสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งมาชั่งให้ได้ตามสัดส่วนที่ต้องการ แล้วนำมาบดคลุกเคล้าจนเป็นเนื้อเดียวกัน (อาจใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องบด) อบให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิและเวลาที่ต้องการ ผลผลิตที่ได้มักมีความบริสุทธิ์ต่ำไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และบางทีอาจมีสารประกอบรูปอื่นๆ เจือปนจากสารตั้งต้น หรือจากชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียม เช่น ซิลิกา อะลูมินา เป็นต้น สิ่งเจือปนเหล่านี้มีผลกระทบต่อสมบัติต่างๆ ของสารที่ต้องการเตรียม

2. วิธีการเตรียมแบบตกตะกอนร่วม (Coprecipitation method)

วิธีการตกตะกอนร่วม^[15] เป็นวิธีของการแยกไอออน หรือโมเลกุลของสารที่สนใจซึ่งอยู่ในเฟสของสารละลายจะถูกทำให้กระจายมาอยู่ในเฟสของของแข็ง หรือที่เรียกว่าตะกอนได้ โดยเพิ่มสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน เช่น ค่า pH ความเข้มข้น บรรยากาศ และอัตราการผสม

สารละลาย เป็นต้น ซึ่งจะบริสุทธิ์แค่ไหนนั้นจะพิจารณาจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าผลคูณของไอออน (Ion product) กับค่าคงที่ของการละลาย (Solubility product constant, K_{sp}) วิธีการตกตะกอนเป็นวิธีที่มีกระบวนการเตรียมตามชนิดของตัวกลางหลักที่ใช้

3. วิธีการเตรียมแบบไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)

วิธีไฮโดรเทอร์มอล^[16-17] เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันได้มีการเตรียมผงเซรามิก เนื่องจากผงเซรามิกที่เตรียมได้มีความสม่ำเสมอทั้งองค์ประกอบเคมีและขนาดของอนุภาคสามารถเตรียมได้ในขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิและความดันปานกลาง โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการแคลไซน์ (Calcination) และมีอุณหภูมิของการเผาผนึก (Sintering temperature) ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับผงที่เตรียมได้จากวิธีการเตรียมทางเคมีอื่นๆ เพราะอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าแต่วิธีการเตรียมแบบนี้จะต้องมีการควบคุมค่า pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยาวิธีไฮโดรเทอร์มอลได้ถูกนำมาใช้ในการเตรียมสารเฟอร์โรอิเล็กตริกทั้งผงและฟิล์มบาง

กลไกพื้นฐานสำหรับวิธีไฮโดรเทอร์มอลของอนุภาคเซรามิกออกไซด์ สามารถอธิบายได้ดีเมื่ออนุภาคเป็นสารแขวนลอย กลไกของการตกตะกอนของอนุภาคที่เป็นสารพวกออกไซด์ไฮดรอกไซด์ หรือสารประกอบออกไซด์ จะสามารถละลายในสารละลายได้จนกระทั่งอิ่มตัว และสุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์ตกตะกอนออกมา

กรณีของสารแขวนลอยไม่สามารถละลายในสารละลายของเหลว ดังนั้นอาจจะเติมเบสลงไปหรืออนุภาคเซรามิกส์ การเลือกใช้แต่ละกลไกขึ้นอยู่กับสถานะในการเตรียมนั้นด้วย การเตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในการผลิตผงเซรามิกส์ มีข้อได้เปรียบ คือ ใช้อุณหภูมิไม่สูงมากเหมือนการเผาแคลไซน์ และวัตถุดิบขั้นต้นมีราคาถูกกว่า แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้สามารถเลือกใช้ออกไซด์ได้บางชนิดเท่านั้น ซึ่งเป็นชนิดที่เกิดได้ภายใต้สภาวะไฮโดรเทอร์มอล

4. วิธีการเตรียมแบบซอล-เจล (Sol-gel method)

วิธีการเตรียมแบบซอล-เจล^[18-19] นิยมใช้ในการเตรียมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาโลหะอัลคอกไซด์ หลังจากนั้นทำให้แห้งและอัดผงอนุภาคให้ติดกันเป็นก้อนแข็ง โดยใช้ความร้อนแต่เป็นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมละลายของโลหะ จะได้สารที่เป็นตัวนำไปผลิตอุปกรณ์ที่เป็นเซรามิกส์

ซอล (Sol) คือ สารแขวนลอยในสถานะของเหลวคล้ายสารละลายแขวนลอยชนิดหนึ่งซึ่งจับตัวแข็งเป็นวุ้น มีความหนืดสูงจนสารละลายมีความยืดหยุ่นอย่างของแข็ง ที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากโครงร่างตาข่าย (Net work) ของเฟสที่กระจายตัว (Dispersed phase) หรือคอลลอยด์ (Colloid) หรือสารตัวกลางทำกระจาย (Dispersion medium) วนเวียนอยู่ในโครงร่างตาข่ายนั้น การ

เปลี่ยนจากซอล (Sol) ไปเป็นเจล (Gel) จะทำให้มีความหนืดสูงขึ้น ในระบบของซอล-เจล จะอธิบายได้เป็น 2 แบบ ซึ่งแตกต่างกัน คือ

1. ระบบอนุภาคที่แขวนลอย จะเกี่ยวข้องกับการกระจายของโลหะออกไซด์ หรืออนุภาคของไฮดรอกไซด์ ในของเหลวที่เป็นซอล แล้วซอลจะรวมตัวกันเป็นเจล

2. ระบบของพอลิเมอร์ จะเกี่ยวข้องกับการเกิดพอลิเมอร์ของสารเคมีอินทรีย์ของโลหะ-อัลคอกไซด์ที่จะผลิตเจลได้พอลิเมอร์ที่มีลักษณะโครงร่างตาข่าย สำหรับระบบของพอลิเมอร์โมเลกุลที่เป็นโครงร่างตาข่ายได้จากการเกิดพอลิเมอร์ของโลหะอินทรีย์ เช่น โลหะอัลคอกไซด์ซึ่งประกอบด้วยอะตอมของโลหะกับกลุ่มอัลคิลที่ต่อกับออกซิเจน เช่น $-CH_3$ (เมทิล), $-C_2H_5$ (เอทิล) เป็นต้น ดังปฏิกิริยาโลหะอัลคอกไซด์สายสั้นๆ สำหรับ $M(OR)_x$ ที่ถูกไฮโดรไลซิสบางส่วนหรือทั้งหมด



ปฏิกิริยาต่อไปเป็นการต่อสายลูกโซ่จากปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชัน (Polycondensation)



ออกซิเลชัน (Oxolation)



อัลโคซิเลชัน (Alcoxolation)

ในระบบนี้จะมีเจลเลชัน (Gelation) เกิดขึ้น เมื่อมีสารที่มีโมเลกุลสายยาวเป็นผลิตภัณฑ์จากการเกิดไฮโดรไลซิส และพอลิคอนเดนเซชันของอัลคอกไซด์ ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะเป็นโครงร่างตาข่ายที่ใหญ่ขึ้นอย่างรวดเร็ว จุดที่เริ่มเป็นเจลจะเป็นช่วงเวลาที่เกิดโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ล้อมรอบซอล ซึ่งจะสามารถสังเกตได้จากการทดลอง พบว่ามีความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และการไหลของเจลที่เหมาะสมซึ่งสามารถทำเป็นฟิล์ม เส้นใย หรือการขึ้นรูปต่างๆ

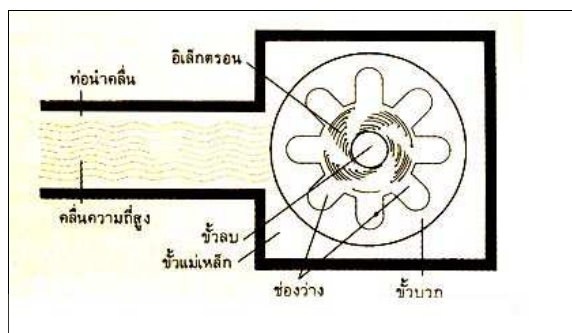
ขั้นตอนการทำให้เจลแห้งจะทำให้เจลเกิดรูพรุน และเป็นของแข็งอสังฐานที่อนุภาคของเจลตัวอย่างของการทำให้แห้งโดยการระเหยเจลทำให้อยู่ในรูปของเซโรเจล (Xerogel) ซึ่งจะมีการยุบตัวของผิวหน้าเจลเท่านั้น แต่การทำให้เจลแห้งภายใต้สภาวะวิกฤต เช่น ที่ความดันวิกฤตและอุณหภูมิวิกฤต เมื่อของเหลวและไอสมดุลซึ่งกันและกัน จะสามารถกำจัดของเหลวและไอที่อยู่ระหว่างผิวทั้งสอง จะทำให้เกิดรูพรุนทั่วทั้งหมัด เรียกว่า แอโรเจล (Aerogel) แสดงดังรูป 1.5

วิธีแบบซอล-เจล เป็นวิธีการเตรียมสารโดยเริ่มจากการใช้สารตั้งต้น ที่อยู่ในสภาพของสารละลายซึ่งผสมเข้ากันเป็นอย่างดีและสามารถทำปฏิกิริยากันในระดับโมเลกุล ทำให้เกิดโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ยาวหรือเกิดอนุภาคที่มีขนาดเล็กกระจายตัวอยู่ในของเหลวที่เรียกว่า ซอล (Sol) เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ความหนืดของสารจะสูงขึ้นจนกระทั่งกลายสภาพเป็นสารกึ่งของเหลวที่เรียกว่า เจล (Gel) จากนั้นจึงนำเจลที่ได้ไปทำให้แห้งสนิท แล้วคั่วให้เป็นผงละเอียดก่อนนำไปเผา แคลไซน์ด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อไป วิธีการเตรียมแบบซอล-เจล จะทำให้ได้ผงที่มีขนาดเล็กและมีความบริสุทธิ์สูงมาก และสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

5. วิธีการเตรียมแบบไมโครเวฟ (Microwave method)

ไมโครเวฟ (Microwave)^[20] เป็นคลื่นความถี่วิทยุชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 0.3-300 GHz ส่วนในการใช้งานนั้นส่วนมากนิยมใช้ความถี่ระหว่าง 1-60 GHz เพราะเป็นย่านความถี่ที่สามารถผลิตขึ้นได้ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีลักษณะคล้ายกับคลื่นวิทยุ แต่มีความถี่ที่สูงกว่า หัวใจสำคัญของเตาไมโครเวฟ คือตัว “แม็กนีตรอน” ที่จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นไมโครเวฟ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เพราะคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นมิใช่รังสี จึงไม่กระจายและสะสมในร่างกายมนุษย์ ระบบการทำงานของเตาไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟจะพุ่งเข้าสู่อาหารจากทุกทิศทางโดยรอบจากผนังเตาด้านใน แล้วแผ่กระจายไปสู่วัตถุเมื่อคลื่นไปกระทบกับวัตถุ ทำให้โมเลกุลของวัตถุเกิดการเสียดสีกัน ก่อให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน

กลไกการเกิดคลื่นไมโครเวฟ^[21] เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขั้วลบของแม็กนีตรอน ก็จะปล่อยอนุภาคไฟฟ้าหรืออิเล็กตรอนออกมา อิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าหาทรงกระบอกกลางซึ่งภายในเขาเป็นร่องยาวไว้ ทรงกระบอกนี้ล้อมอยู่รอบขั้วลบ และทำหน้าที่เป็นขั้วบวก ขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก ประกอบกับลักษณะช่องว่างเป็นร่องยาวจะส่งผลให้เกิดแรงผลักดันอิเล็กตรอนให้วิ่งเป็นวงกลมรอบขั้วลบ เกิดสภาพเหมือนกับมีกระแสไฟฟ้าไหลกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลที่ได้ ก็คือจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (เส้นที่มีลักษณะเป็นคลื่น) ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงกลับไปกลับมาเท่ากันจากนั้นก้านส่งคลื่นก็จะส่งคลื่นเข้าสู่ท่อนำคลื่นต่อไป (ทิศทางตามลูกศร)



ภาพที่ 2 กลไกการเกิดคลื่นไมโครเวฟ^[21]

การทำงานของเตาไมโครเวฟ^[22] เตาอบไมโครเวฟ จะทำงานที่ความถี่ 2450 MHz จะให้พลังงาน 500-1100 วัตต์ ในตู้อบไมโครเวฟ มีท่อที่เรียกว่า แม็กนิตรอน ซึ่งเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดคลื่น เมื่อเปิดสวิตช์ ก็จะทำให้เกิดคลื่น คลื่นนี้จะถูกพัดลมพัดคลื่นให้กระจายทั่วเตา วัตถุก็จะดูดซึมคลื่น นอกจากนั้นถาดที่หมุนได้จะช่วยให้อาหารได้รับคลื่นอย่างสม่ำเสมอ โมเลกุลของน้ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ จะเกิดการสั่นทำให้เกิดความร้อน โลหะที่เป็นส่วนประกอบในเตา หรือภาชนะที่ใส่วัตถุดิบจะไม่ร้อน ความร้อนมาจากวัตถุทำให้อาหารร้อน การเลือกภาชนะ ต้องใช้ชนิดที่ระบุว่าใช้ในเตาไมโครเวฟได้เท่านั้น

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบวิธีการเตรียมวัสดุโฟโตแคทาไลติกส์^[23]

วิธี	ข้อดี	ข้อเสีย
1. โซลิดสเตท (Solid state method)	1. สารตั้งต้นราคาถูก 2. สังเคราะห์ได้ปริมาณมาก	1. อนุภาคมีขนาดใหญ่ 2. มีสารมลทินจากขั้นตอนการบด 3. ใช้อุณหภูมิสูงในการเผาแคลไซน์
2. การตกตะกอนร่วม (Co-precipitation method)	1. ได้ผงละเอียด (ถ้าอัตราการตกตะกอนต่ำในสารละลายที่มีความเข้มข้นเจือจาง)	1. อนุภาคเกาะกัน เกิดการรวมตัวเป็นก้อน 2. ต้องบดเพื่อให้ได้ผงละเอียดและขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ
3. ไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)	1. ได้ผงละเอียด 2. ความบริสุทธิ์สูง 3. สามารถควบคุมขนาดอนุภาคได้	1. ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารระหว่างที่เข้าทำปฏิกิริยา 2. ต้องควบคุมค่า pH ในเครื่อง 3. ต้องมีการควบคุมอัตราการคนอย่างสม่ำเสมอ
4. ซอล-เจล (Sol-gel method)	1. ได้ผงละเอียดสม่ำเสมอ มีความบริสุทธิ์สูง 2. เกิดการรวมตัวกันในระดับโมเลกุลของสารตั้งต้น ทำให้พื้นที่ผิวของเจลมาก	1. สารตั้งต้นมีราคาสูง 2. มีความชื้นสูง
5. ไมโครเวฟ (Microwave method)	1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง 2. ใช้เวลาน้อยในการทำปฏิกิริยา 3. ราคาถูก 4. ขั้นตอนการสังเคราะห์ขั้นตอนเดียว	1. ตะกอนที่ได้ไม่บริสุทธิ์ 2. อนุภาคเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน

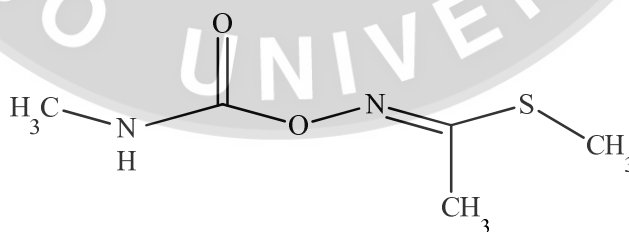
เมทโธมิล (Methomyl)^[24-27]

เมทโธมิล รู้จักในชื่อทางการค้าคือ แลนเนท (Lannate) เป็นวัตถุอันตรายที่มีอันตรายร้ายแรงหลายประเทศยกเลิกการใช้แล้ว เมทโธมิลเป็นวัตถุอันตรายที่มีพิษเฉียบพลันรุนแรง และมีสารเคมีที่มีอันตรายน้อยกว่าอีกหลายชนิดที่ใช้ทดแทนได้ เช่น ไดอะเฟนไทยูเอน คลอร์ฟิโนเพอร์ ฟิโปรนิล

และไซเปอร์เมทริน ทั้งยังสามารถใช้สารทางเลือกหรือผลิตภัณฑ์อินทรีย์ทดแทนสารเคมีได้ เช่น เชื้อแบคทีเรียบีที เป็นต้น ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงจากการตรวจพบเมทโทมิลตกค้างในผักและผลไม้ที่ส่งออกจากข้อมูลที่กำลังมาข้างหน้า จึงเป็นสาเหตุของการห้ามใช้วัตถุอันตรายทั้ง 4 ชนิด เนื่องจากเป็นสารที่มีอันตรายสูง

คุณสมบัติของเมทโทมิล

เป็นสารกำจัดแมลงชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มคาร์บาเมตเช่นเดียวกับคาร์โบฟูแรน (ฟูราดาน) คาร์บาริล (เซฟวิน) โพรพ็อกเซอร์ (ไบคอน) ออกฤทธิ์ในการกำจัดแมลงแบบสัมผัสตัวตายและดูดซึมเข้าสู่ลำต้นของพืช มีคุณสมบัติยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ Acetylcholinesterase เหมือนกับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบไม่ถาวรและสลายได้ง่าย โดยเกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านการเกษตรเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชบนผลไม้เนื้อเปลือกอ่อนกำจัดเพลี้ยไฟ หนอนเจาะสมอฝ้าย ในการปลูกผัก ผลไม้ เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ถั่วลิสง ถั่วพักยาว กะหล่ำปลี แตงกวา มะเขือเทศ หอมแดง พริก เมล็ดฝ้าย แตงโม มะม่วง ส้ม องุ่น แอปเปิล นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารกำจัดเห็บหมัด เป็นต้น เมทโทมิลเป็นสารที่สลายได้เร็วจึงไม่ค่อยตกค้างในสิ่งแวดล้อมแต่มีพิษเฉียบพลันสูง โดยมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Acetylcholinesterase ทำให้เกิดการสะสมของ Acetylcholine ที่ปลายประสาทเหมือนกับสารกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส มีความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมน้อย เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นแบบไม่ถาวรและสลายได้ง่าย ค่าความเป็นพิษ LD50 โดยการกินของหนู มีค่า 17-24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม LD50 ค่าความเป็นพิษในสัตว์ปีก เช่น ไก่ มีค่า 28 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นกกระทา มีค่า 24.2 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และนกเป็ดน้ำ มีค่า 15.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม



ภาพที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของเมทโทมิล (Metholmyl)

ลักษณะทั่วไปของเมทโรมิล

ชื่อสามัญ	เมทโรมิล
ชื่อตาม IUPAC	S-methyl-N-(methylcarbamyloxy) thioacetamidate
ชื่ออื่นๆ	Lannate Mesomile Methomex Nudrin
สูตรโมเลกุล	$C_5H_{10}N_2O_2S$
มวลโมเลกุล	162.21 กรัมต่อโมล
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึก
ความหนาแน่น	1.2946 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	78-79 องศาเซลเซียส
ความสามารถในการละลายได้	5 กรัมต่อลิตร
ค่า LD ₅₀	17-24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

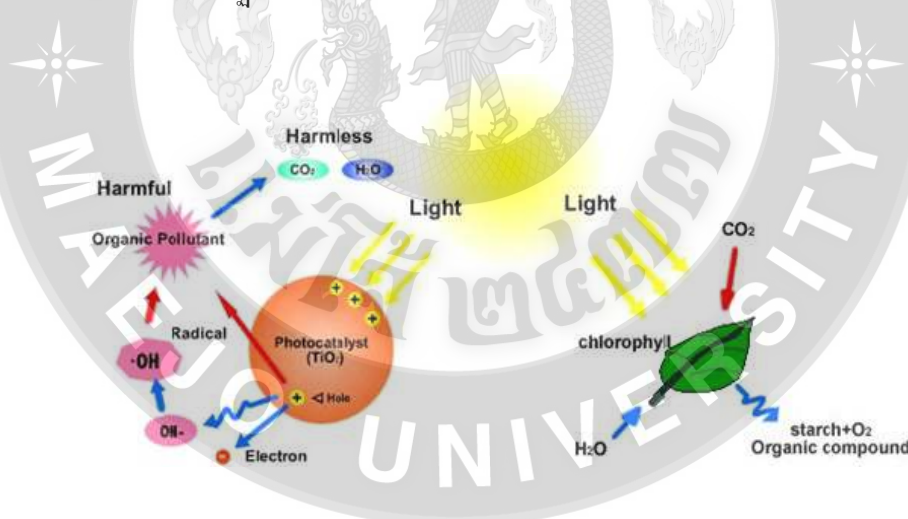
การกำจัดสารเมทโรมิลและการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากสารเมทโรมิลที่มีผลกระทบทางด้านเกษตรกรรมและโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องมีการปรับใช้เพื่อแก้ไขปัญหาในส่วนนี้เนื่องจากว่าคุณสมบัติของสารพิษเหล่านี้มีความแตกต่างกันตามการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ความสามารถในการละลายในน้ำ ขนาดโมเลกุลของสาร เป็นต้นซึ่งคุณสมบัติที่ต่างกันนี้จะมีวิธีการกำจัดที่แตกต่างกันออกไปเช่น การดูดซับด้วยถ่าน (Activated carbon) ซึ่งวิธีนี้ใช้ไม่ได้ทุกคุณสมบัติที่ต่างออกไป จึงได้มีการใช้กระบวนการโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic process) เข้ามาช่วยในการแก้ไข

ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic)

กระบวนการโฟโตแคตาไลติกส์ (Photocatalytic process)^[28-31] เป็นเทคนิคการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงไปกระตุ้นอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ (Valence band) ของสารประกอบกึ่งตัวนำ ซึ่งแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีสิ่งเจือปนหลุดออกจากตำแหน่งส่งผลให้อิเล็กตรอนที่หลุดไป และโฮล (hole) ซึ่งเป็นช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุบวกสามารถสร้างพลังงานความร้อนกลับมารวมตัวกันหรือทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยที่โฮลจะทำปฏิกิริยากับน้ำและหมู่ไฮดรอกซิล เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล (Hydroxyl radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรงซึ่งจะสามารถไปทำให้โมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่แตกตัวออกกลายเป็น น้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ ในที่สุด

ส่วนอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ละลายอยู่ ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน ซึ่งสามารถทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลได้ หลังจากปฏิกิริยาผ่านไปหลายขั้นตอน ในอีกทางหนึ่ง อิเล็กตรอนสามารถลดปริมาณโลหะบางชนิดที่ละลายอยู่ได้ด้วย

ปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างสำคัญต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสง คือ การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮล (Electron/Hole recombination) โดยปกติแล้วความสัมพันธ์ของอัตราการรวมตัวกันใหม่กับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรง กล่าวคือ ถ้าปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งหมายถึง ปริมาณอิเล็กตรอนที่แถบคอนดักชันของอนุภาคของสารกึ่งตัวนำมีมาก จะมีผลทำให้การรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนกับโฮลมีอัตราลดลง และประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากโฮลสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้มากขึ้น ในทางกลับกันถ้าโฮลที่ว่างของแถบวาเลนซ์ถูกบรรจุด้วยอิเล็กตรอนให้เต็มอย่างรวดเร็วด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์โดยรวมแล้วคือว่า เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันของโลหะจะเป็นการส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ อย่างไรก็ตามสิ่งที่สนับสนุนการเพิ่มของขบวนการย้อนกลับเป็นความซับซ้อนยุ่งยากมาก เพราะโดยปกติแล้วปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดผ่านไฮดรอกซิลเรดิคัลเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์และโฟโตเคมี^[32]

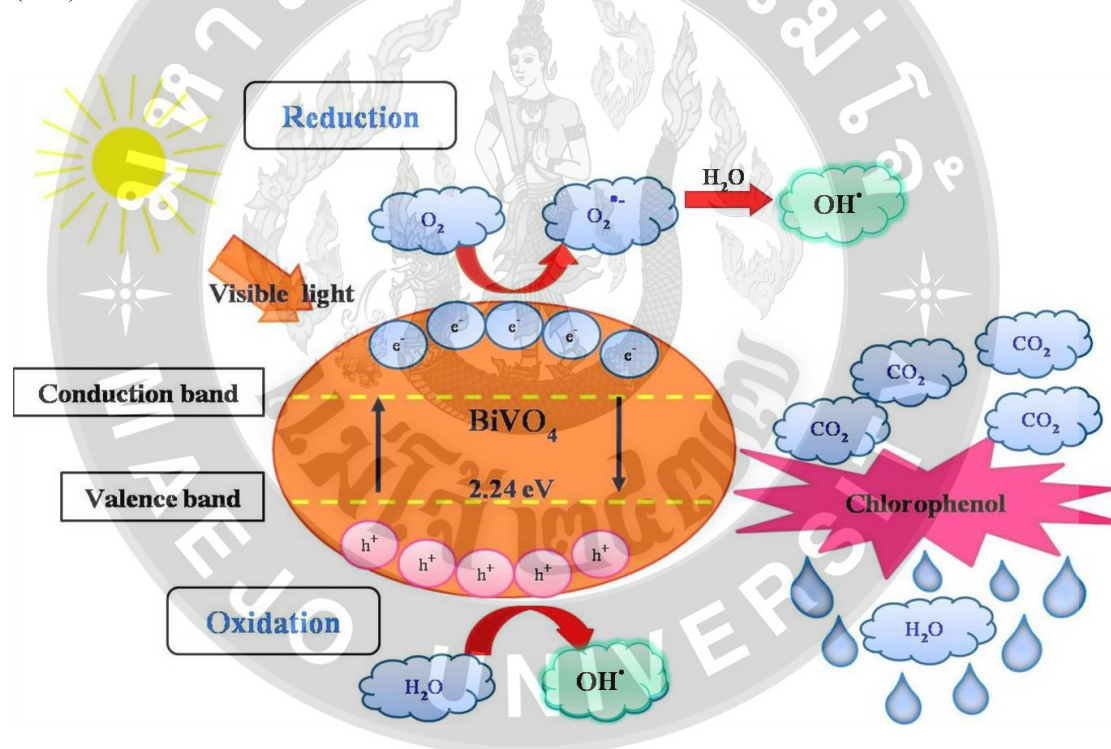
กลไกของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของบิสมัทวานาเดต

ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของบิสมัทวานาเดต^[33-34] ในการบำบัดสารอินทรีย์โดยทั่วไปนั้น จะเกิดจากการที่บริเวณผิวของสารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ที่มีช่องว่าง (Hole) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) และน้ำ (H₂O) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH[·]) และเรดิคัลตัวอื่นๆ ส่วนที่บริเวณผิวของสารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ ที่มีอิเล็กตรอนจะเกิดปฏิกิริยา

รีดักชันกับออกซิเจน (O_2) เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล ($O_2^{\cdot-}$) เปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัลออกไซด์ ($HO^{\cdot-}$) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำ (H_2O) กับซูเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล ($O_2^{\cdot-}$) โดยสามารถเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\cdot}$) ได้อีก

ในขณะที่สภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดโปรตอน (H^+) ซึ่งเกิดจากการแตกตัวของน้ำเข้มาับอิเล็กตรอนแทนเกิดเป็นไฮโดรเจนเรดิคัล ($H^{\cdot}$) โดยจากการศึกษาพบว่าไฮโดรเจนเรดิคัล ($H^{\cdot}$) จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิเด้นซ์หลักในปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิสต์ เนื่องจากไฮโดรเจนเรดิคัล ($H^{\cdot}$) เป็นสารที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา

เนื่องจากไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\cdot}$) และช่องว่างที่ผิวของตัวแคตาลิสต์ มีคุณสมบัติเป็นประจุบวก การออกซิไดซ์ของช่องว่างกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะเกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\cdot}$) และขณะเดียวกันช่องว่างจะเกิดการออกซิไดซ์กับสารอินทรีย์ด้วย แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กลไกการกำจัดคลอโรฟีนอล ด้วยปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิสต์ของบิสมัทวานาเดต ภายใต้การฉายแสงวิสิเบิล^[34]

ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของปฏิกิริยาโฟโตแคตาลิสต์ จึงเกิดได้ 2 กระบวนการ คือ

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของช่องว่างกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และน้ำ (H_2O) เกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\cdot}$) และปฏิกิริยารีดักชันของอิเล็กตรอนกับออกซิเจน (O_2)

หรือไฮโดรเจนไอออน (H^+) เกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์ไอออนเรดิคัล ($O_2^{\cdot -}$) เปอร์ไฮดรอกซิลเรดิคัล-ออกไซด์ ($HO^{\cdot 2}$) และไฮโดรเจนเรดิคัล ($H^{\cdot}$)

2. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ที่ดูดติดบนโพล (Hole) ของตัวแกตาลิสต์ ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ พบว่า ตัวปฏิกิริยาหลักที่เกิดขึ้น คือ ไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^{\cdot}$) กับสารอินทรีย์ ส่วนการเกิดปฏิกิริยาระหว่างช่องว่างกับสารอินทรีย์นั้นเป็นปฏิกิริยารองซึ่งเกิดขึ้นได้น้อยกว่า



วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมผงบิสมัธวานาเดต โดยวิธีไมโครเวฟ
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของผงบิสมัธวานาเดต
3. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัธวานาเดตในการสลายตัวของเมทโรนิล
4. เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดเมทโรนิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมและพัฒนาสารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ
2. สามารถกำจัดเมทโรนิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ จากกิจกรรมทางภาคเกษตรกรรม
3. นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์และพัฒนาผลิตภัณฑ์สารประเภทโฟโตแคตาไลสต์ สำหรับการใช้กำจัดของเสียที่อยู่ในรูปของเมทโรนิลในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตยาปราบศัตรูพืช โดยมีภาครัฐและภาคเอกชนร่วมมือกัน ให้องค์ความรู้แก่ประชาชน
4. สามารถนำเสนอผลงานทางวิชาการในที่ประชุมระดับชาติและระดับนานาชาติ
5. สามารถเผยแพร่ผลงานทางวิชาการในวารสารระดับชาติและระดับนานาชาติ

การตรวจเอกสาร

Bhattacharya, A. K. และคณะ (1997)^[35] ได้ทำการศึกษาการเตรียมบิสมัธวานาเดต โดยวิธีตกตะกอนร่วมทางเคมี สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรตและแอมโมเนียมวานาเดต ทำการตกตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ที่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างและอุณหภูมิ พบว่า สามารถเตรียมบิสมัธวานาเดตที่มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิกได้

Ying Zhou และคณะ (2010)^[36] ศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดต โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรต เพนตะไฮเดรต ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และวานาเดียมเพนทอกไซด์ (V_2O_5) และโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) ให้ความร้อนในระบบเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการทดลองได้ปรับสภาวะการทดลองเป็น 5 สภาวะการทดลอง โดยมีสัญลักษณ์เป็น BiVO_4 (1), BiVO_4 (2), BiVO_4 (3), BiVO_4 (4) และ BiVO_4 (5) พบว่า ลักษณะโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต ทั้ง 5 สภาวะการทดลอง เป็นแบบโมโนคลินิก เมื่อเทียบกับ Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 75-2480 มีค่าขนาดผลึก เท่ากับ 150 นาโนเมตร และจากการวิเคราะห์ห้านาโนภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน มีค่าอนุภาคอยู่ในช่วง 100–300 นาโนเมตร

Hirota, K. และคณะ (1992)^[37] ได้ทำการศึกษาการเตรียมบิสมัธวานาเดต โดยวิธีซอล-เจล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรตและวานาเดียมเพนทอกไซด์ ในสารละลายเอทานอลที่อุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิสเกิดขึ้น เมื่อเติมน้ำในปริมาณมากเกินไปในสารละลายเอทานอล จากนั้นทำการเติมอะซิติก อะซิโตน จะเกิดซอล ซึ่งเป็นอนุภาคคอลลอยด์แขวนลอยในสารละลายปล่อยให้สารละลายระเหย โดยการผ่านความร้อน หลังจากนั้นเกิดเจล จากนั้นนำไปเผาแคลไซน์จะได้บิสมัธวานาเดต ที่มีโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก ที่มีขนาดอนุภาค 45 นาโนเมตร

Wei Liu และคณะ (2010)^[38] ศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดตให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิก โดยวิธีไอโอโนเทอร์มอลอย่างง่าย (simple ionothermal treatment) ตัวทำละลายที่ใช้คือ ยูเรีย/คลอรีน คลอไรด์ (urea/choline chloride) สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรต เพนตะไฮเดรต ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และแอมโมเนียม เมทาวานาเดต (NH_4VO_3) ให้ความร้อนในระบบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า ผงบิสมัธวานาเดต มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบโมโนคลินิกแบบซีไลต์ มีค่า lattice constants เท่ากับ $a = 0.7331$ นาโนเมตร $b = 0.7331$ นาโนเมตร และ $c = 0.6462$ นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS No. 48-0744 ที่มีค่า lattice constants เท่ากับ $a = 0.7300$ นาโนเมตร $b = 0.7300$ นาโนเมตร และ $c = 0.6457$ นาโนเมตร มี

ลักษณะอนุภาคเป็นแบบแท่ง มีขนาดความยาวเท่ากับ 8–10 ไมโครเมตร ความหนาเท่ากับ 100 นาโนเมตร

Ren, L. และคณะ (2009)^[39] การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล สามารถเตรียมได้ในสารละลายเอทานอลกับน้ำในอัตราส่วน เท่ากับ 3:1 โดยพบว่า บิสมัทวานาเดต มีความยาว เท่ากับ 200 นาโนเมตรและมีความหนา เท่ากับ 30 นาโนเมตร ซึ่งขนาดดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ทำการทดลอง

Zhang, H.M. และคณะ (2008)^[40] การเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไมโครเวฟ สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัทไนเตรดกับโซเดียมวานาเดต ภายใต้เงื่อนไขของสภาวะการเตรียม คือ เวลาและพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ ทำการตรวจสอบโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ พบว่า บิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอลและโมนอกลิติก

Tomašević, A. และคณะ (2010)^[41] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในการสลายตัวของสารกำจัดแมลงเมทโธมิดในน้ำ โดยใช้โอไซด์ พบว่า อัตราการสลายตัวของสลายตัวของเมทโธมิดสามารถหาได้โดยเทคนิคอัลตราไวโอเลต สเปกโตรเมตรีและโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง โดยความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงเมทโธมิด เท่ากับ 16.22 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถสลายตัวอย่างสมบูรณ์ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 4 ชั่วโมง

Pookmanee, P. และคณะ (2009)^[42] ได้ทำการเตรียมบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัทไนเตรดและแอมโมเนียมวานาเดต ด้วยอัตราส่วนโดยโมล เท่ากับ 1:1 ปรับสารละลายสุดท้าย ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 นำเข้าเครื่องไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-6 ชั่วโมง พบว่า บิสมัทวานาเดตที่ได้มีโครงสร้างเป็นแบบโมนอกลิติก มีช่วงขนาดอนุภาค เท่ากับ 200-700 นาโนเมตร

Tomašević, A. และคณะ (2009)^[43] ได้ทำการศึกษาการสลายตัวของเมทโธมิด โดยผงไททานเนียมไดออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร พบว่า การสลายตัวสารละลายเมทโธมิด เพิ่มขึ้น 2.0 กรัมต่อลิตร ของผงซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพได้ดีกว่าผงไททานเนียมไดออกไซด์

อุปกรณ์และวิธีการ

สารเคมี

ตารางที่ 4 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อสารเคมี	เกรด/ความบริสุทธิ์	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ
1. Acetic acid	99.7 % v/v	RCI Labscan	Thailand
2. Acetonitrile	99.9 % v/v	RCI Labscan	Thailand
3. Ammonium hydroxide	29.4 % v/v	J.T. Beak	USA
4. Ammonium vanadate	99.5 % w/v	Ajax	Australia
5. Bismuth nitrate pentahydrate	99.0 % w/v	Ajax	Australia
6. Ethanol	99.8 % v/v	Merck	Germany
7. Nitric acid	65.0 % v/v	Merck	Germany
8. 2-Propanol	99.7 % w/v	RCI Labscan	Thailand

ตารางที่ 5 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัทผู้ผลิตและรุ่น	ประเทศ
1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)	JEOL JSM-5410LV	Japan
2. โกร่งบด (Mortar)	-	-
3. เครื่องเคลือบทองด้วยสุญญากาศ (Fine coater)	JEOL JFC 1200	Japan
4. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatograph)	Agilent HP 1100 series	USA
5. เครื่องชั่งชนิด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)	Mettler Toledo AB304-5	Switzerland
6. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer)	PerkinElmer SpectrumRX I	USA
7. เครื่องไมโครเวฟ (Microwave)	Samsung MW71B	Malasia
8. เครื่องวัดการกระจายพลังงาน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray spectrophotometer)	Oxford IncaPentaFET×3	England
9. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)	Metrohm Swissmade	Switzerland
10. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic)	Labquid 136H	England
11. เครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray diffractometer)	Bruker D8 Advance	Germany

12. ตู้อบอุณหภูมิ (Hotbox oven size 2)	Thai Polymedic Gallenkamp	Thailand
13. แผ่นกรอง (Filter)	FILTREX 0.45 micron, 15 mm	Thailand
14. หลอดวิสิเบิล (Visible lamp)	Lumax Ecoeule LED 8W	China

วิธีการวิจัย

1. การเตรียมสารละลาย

1. การเตรียมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์

เปิดสารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 65 % ปริมาตร 34.63 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จนมีปริมาตรครบ

2. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

เปิดสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 29.4 % ปริมาตร 33.19 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จนมีปริมาตรครบ

3. การเตรียมสารละลาย 2-โพรพานอล ความเข้มข้น 5.0 โมลาร์

เปิดสารละลาย 2-โพรพานอล เข้มข้น 99.7 % ปริมาตร 96.00 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร จนมีปริมาตรครบ

4. การเตรียมสารละลายบิสมัทไนเตรด ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์

ชั่งบิสมัทไนเตรด เพนตะไฮเดรต น้ำหนัก 6.1558 กรัม ละลายด้วยสารละลายกรดไนตริก เข้มข้น 4.0 โมลาร์ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งคนแม่เหล็ก จนสารละลายหมด เติสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 2-โพรพานอลในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ

5. การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์

ชั่งแอมโมเนียมวานาเดต หนัก 1.4696 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งคนแม่เหล็ก จนสารละลายหมด เทสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 2-โพรพานอล ในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ

6. การเตรียมสารละลายเมทโซมิล ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่งเมทโซมิล หนัก 0.01 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร คนสารละลายด้วยแท่งแก้วคนสารจนสารละลายหมด เทสารละลายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ

7. การเตรียมสารละลายมาตรฐานเมทโซมิล

ปีเปตสารละลายเมทโซมิล ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 1.00, 2.00, 2.50, 3.00, 4.00 และ 5.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในขวดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร

ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดปริมาตร จนมีปริมาตรครบ ได้สารละลายมาตรฐานเมทโซมิล ที่มีความเข้มข้น 2.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. การเตรียมผงบิสมัทวานาเดต โดยวิธีไมโครเวฟ

1. นำสารละลายบิสมัทในกรด ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และสารละลายแอมโมเนียมวานาเดต ความเข้มข้น 0.125 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

2. ผสมสารละลายทั้งสองในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร ภายใต้งานคนด้วยแท่งแม่เหล็กคนสาร ได้ตะกอนสีเหลือง

3. ปรับพีเอช (pH) ให้ได้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์

4. นำสารละลายให้ความร้อนโดยเครื่องไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที ตามลำดับ

5. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 1

6. อบตะกอนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของผงบิสมัทวานาเดต

1. การตรวจสอบลักษณะโครงสร้าง โดยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

1. นำผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้ โดยไม่ผ่านการเผาแคลไซน์ ทำการบดให้ละเอียด
2. นำมาอัดในช่องกลางของแผ่นยึดสารตัวอย่าง ทำการเกลี่ยผิวด้านบนของสารให้เรียบ

3. ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์
4. นำข้อมูลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในแฟ้มมาตรฐาน

2. การตรวจสอบลักษณะพื้นฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโตรมิเตอร์

1. นำผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้ โดยไม่ผ่านการเผาแคลไซน์ ทำการบดให้ละเอียด และทำให้เป็นสารแขวนลอย โดยการนำไปกระจายตัวในตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ เอทานอลบริสุทธิ์

2. นำไปกระจายตัวในเครื่องอัลตราโซนิก ประมาณ 30 นาที
3. นำตะกอนที่แขวนลอยในเอทานอลดังกล่าว หยดใส่สตั๊บ (Stub) ที่ติดด้วยทองแดง เทป แล้วทิ้งไว้ให้แห้งและนำสตั๊บไปเคลือบด้วยทอง โดยเครื่องเคลือบทอง (Fine coater) ด้วยกระแสไฟฟ้า 15 มิลลิแอมแปร์ นาน 150 วินาที
4. นำไปวิเคราะห์หาลักษณะทางพื้นฐาน โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโตรมิเตอร์

3. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่องฟูริเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์

1. นำผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้ โดยไม่ผ่านการเผาแคลไซน์ โดยทำการบดให้ละเอียด
2. ชั่งตะกอนที่เตรียมได้หนัก 0.001 กรัม และโพแทสเซียมโบรไมด์หนัก 0.01 กรัม ลงในโถรงบด ทำการบดสารให้เข้ากัน
3. นำไปอัดด้วยความดัน 1500–2000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้กลายเป็นแผ่นบาง (KBr pellet) นำแผ่นบางวางลงบนแผ่น (Pellet) เอาสก๊อตเทปปิดเพื่อยึดสารตัวอย่างไว้กับ sample holder

4. นำไปวิเคราะห์ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

4. ศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ของผงบิสมัทวานาเดตในการสลายเมทโรนิล โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

1. การเตรียมสภาวะของเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สภาวะการทำงานของเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

ปัจจัย	สภาวะ
ยี่ห้อ/รุ่น/ประเทศ	Agilent, 1100 series, USA
ปริมาตรสารที่ฉีด	20 ไมโครลิตร
ชนิดคอลัมน์	Hypersil ODS C-18 (4.0×250 มิลลิเมตร)
อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่	อะซิโตน:ไตรล์ : น้ำ เท่ากับ 30 : 70
อัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่	1 มิลลิลิตรต่อนาที
ชนิดตัวตรวจวัด	DAD detector
ความยาวคลื่นของการตรวจวัด	234 นาโนเมตร (เมทโรนิล)

2. การศึกษาการสลายตัวของสารละลายเมทโรนิล โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

1. สารละลายเมทโรนิล ความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปกระจายตัวโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 20 นาที

2. ทำการคนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที

3. นำสารละลายเมทโรนิล ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด มาทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ด้วยการฉายแสงจากหลอดวิสิเบิ้ล ขณะทำปฏิกิริยาดังกล่าวต้องคนสารละลายตลอดเวลาการทำการทดลอง

4. ดูดสารละลายเมทโรนิล มาครั้งละ 1 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมครอน

5. นำไปวัดหาปริมาณการสลายตัวของสารละลายเมทโรนิล โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง ตามสภาวะการทำงาน แสดงดังตารางที่ 6

3. การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์การสลายตัวของสารละลายเมทโรนิลโดยผงบิสมัทนาเดต จากเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

1. ชั่งผงบิสมัทนาเดตที่เตรียมได้ ปริมาณ 0.1000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายเมทโรนิล ความเข้มข้น 5.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยกระดาษฟอยล์ นำไปกระจายตัวโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 20 นาที

3. ทำการคนด้วยแท่งแม่เหล็ก เป็นเวลา 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที

4. นำสารละลายเมทโรนิล ที่ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด มาทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ ด้วยการฉายแสงจากหลอดวิสิเบิล ขณะทำปฏิกิริยาต้องคนสารละลายตลอดเวลาการทำการทดลอง

5. คูดสารละลายเมทโรนิล มาครั้งละ 1 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 นาที กรองด้วยแผ่นกรองขนาด 0.45 ไมครอน

6. นำไปวัดหาปริมาณการสลายตัวของสารละลายเมทโรนิล โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง ตามสภาวะการทำงาน แสดงดังตารางที่ 6

4. การหาปริมาณเมทโรนิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

1. เก็บน้ำตัวอย่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ตำบลบ้านหลวง อำเภอแม่เอย จังหวัดเชียงใหม่

2. กรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง

3. นำน้ำตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณเมทโรนิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ ด้วยการทำให้ Standard addition method แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง ที่มีตัวตรวจวัดชนิด UV detector ตามสภาวะดังตารางที่ 6

ผลการวิจัย

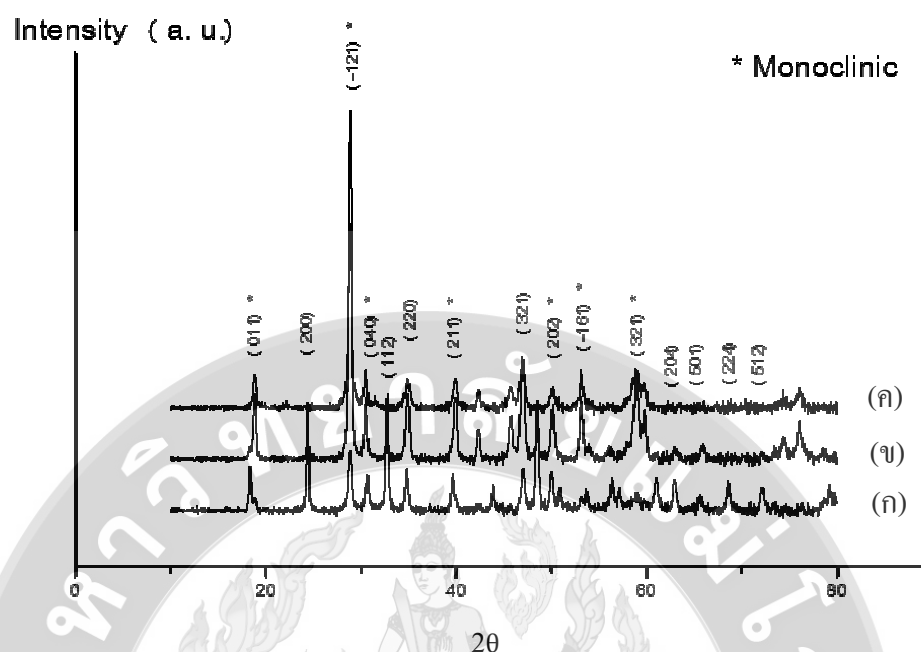
การวิเคราะห์หลักคุณเฉพาะของผงบิสมัธวานาเดต

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธไนเตรด:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 โดยมี 2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย และทำการอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผงละเอียดสีเหลือง แล้วนำมาศึกษาหลักคุณเฉพาะของผงบิสมัธวานาเดต ดังนี้

การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD)

จากการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ จากภาพที่ 6 (ก-ค) แสดงรูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ดังแสดงในภาพที่ 6 (ก-ค) มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล หลังการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 14-0688^[44] และ 14-0133^[45]

จากตารางที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น พบว่า สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล



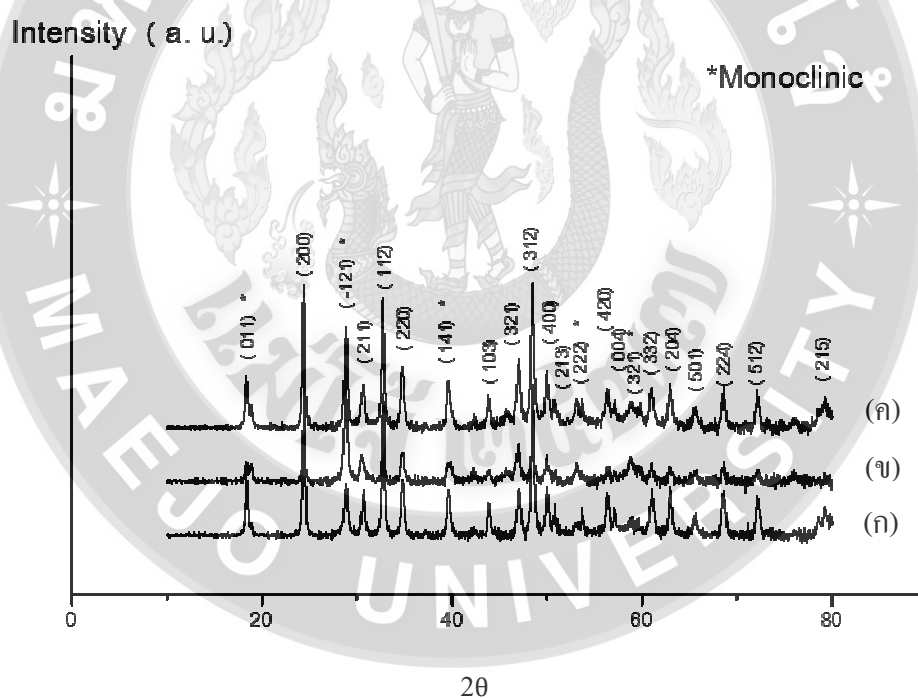
ภาพที่ 6 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

ตารางที่ 7 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที

บิสมัธวานาเดต			ปริมาตรของเฟส (เปอร์เซ็นต์)	
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)		เวลา (นาที)	เตตระโกนอล	โมโนคลินิก
BiVO ₄	600	2	63.14	36.86
BiVO ₄	600	4	9.08	90.92
BiVO ₄	600	6	-	100

จากการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ จากภาพที่ 7 (ก-ค) แสดงรูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก-ค) มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล หลังการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 14-0688^[44] และ 14-0133^[45]

จากตารางที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า ที่เวลา 2 นาที สัดส่วนปริมาตรของเฟสเตตระโกนอลเด่นกว่าเฟสโมโนคลินิก



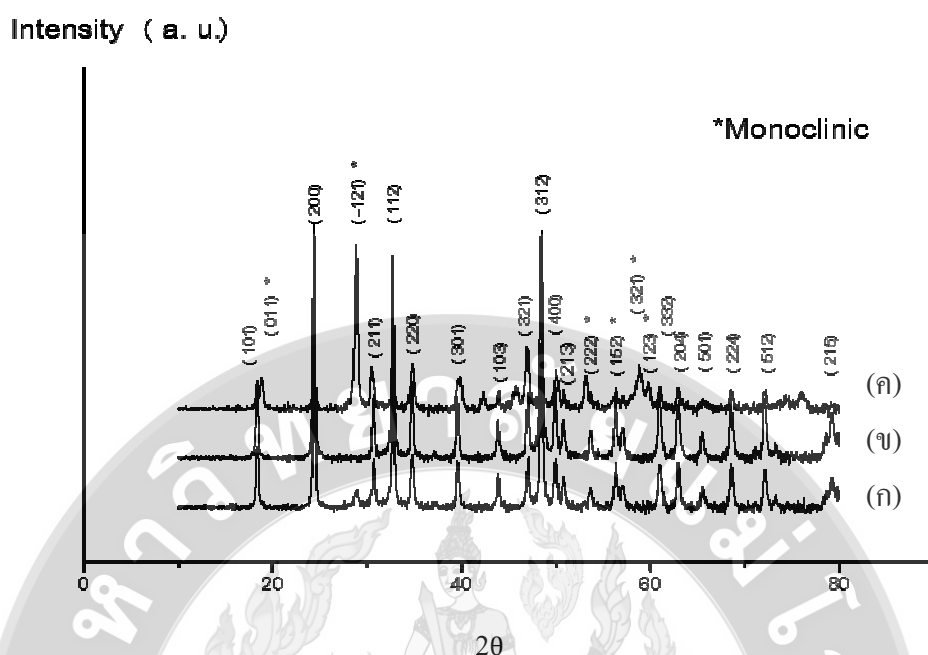
ภาพที่ 7 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

ตารางที่ 8 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที

บิสมัทวานาเดต			ปริมาตรของเฟส (เปอร์เซ็นต์)	
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)		เวลา (นาที)	เตตระโกนอล	โมโนคลินิก
BiVO ₄	700	2	73.02	26.98
BiVO ₄	700	4	32.82	67.18
BiVO ₄	700	6	58.44	41.56

จากการตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ จากภาพที่ 8 (ก-ค) แสดงรูปแบบ XRD ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า รูปแบบ XRD ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก-ค) มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิกและเตตระโกนอล หลังการใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 14-0688^[44] และ 14-0133^[45]

จากตารางที่ 9 เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกกับเตตระโกนอลของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า ที่เวลา 4 นาที สัดส่วนปริมาตรของเฟสโมโนคลินิกเด่นกว่าเฟสเตตระโกนอล



ภาพที่ 8 รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา (ก) 2 และ (ข) 6 นาที

ตารางที่ 9 สัดส่วนปริมาตรของเฟสระหว่างโมโนคลินิกกับเตตระโกนอนอลของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที

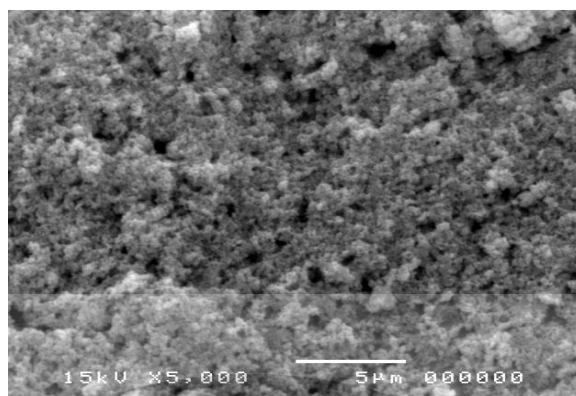
บิสมัธวานาเดต			ปริมาตรของเฟส (เปอร์เซ็นต์)	
กำลังไฟฟ้า (วัตต์)		เวลา (นาที)	เตตระโกนอนอล	โมโนคลินิก
BiVO ₄	800	2	11.68	88.32
BiVO ₄	800	4	-	100
BiVO ₄	800	6	28.14	71.86

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยา โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

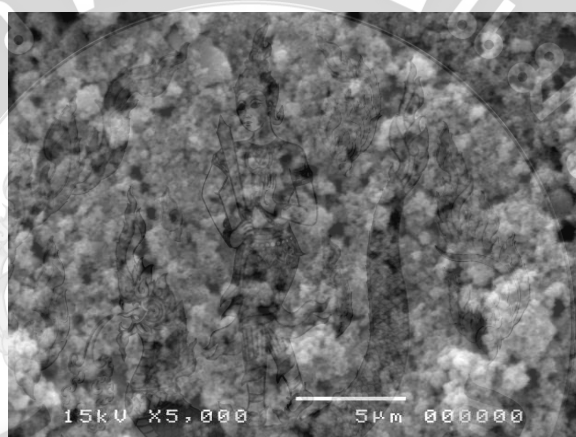
การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากภาพที่ 9 (ก-ค) แสดง SEM ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตมีลักษณะเป็นผงที่ละเอียด มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนค่อนข้างเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.1-0.3 ไมโครเมตร

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากภาพที่ 10 (ก-ค) แสดง SEM ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตมีลักษณะเป็นผงที่ละเอียด มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนค่อนข้างเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.3-0.6 ไมโครเมตร

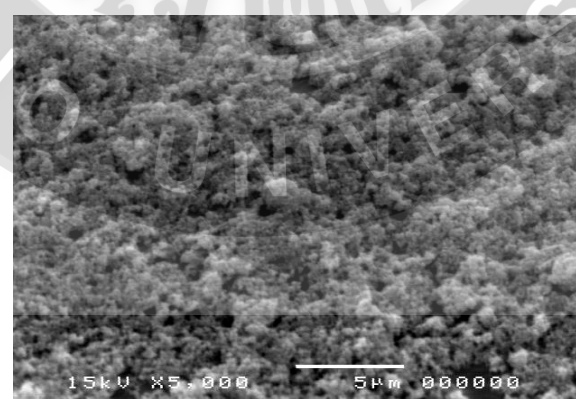
การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากภาพที่ 11 (ก-ค) แสดง SEM ของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตมีลักษณะเป็นผงที่ละเอียด มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนค่อนข้างเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.7-1.2 ไมโครเมตร



(ก)

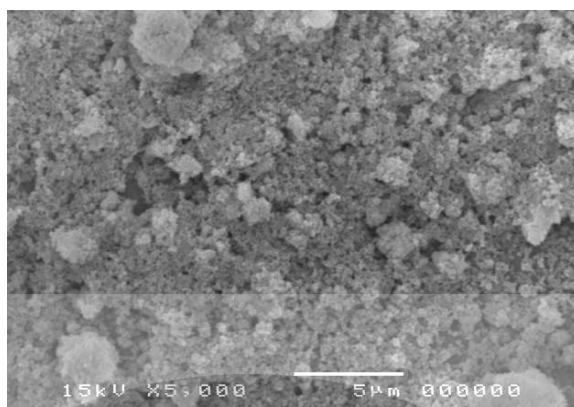


(ข)

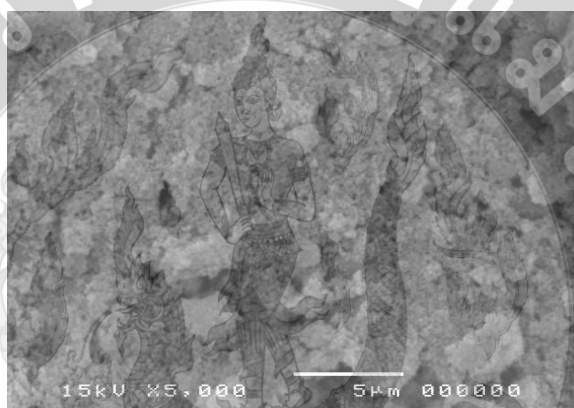


(ค)

ภาพที่ 9 SEM ของผงบิสเมธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที



(ก)

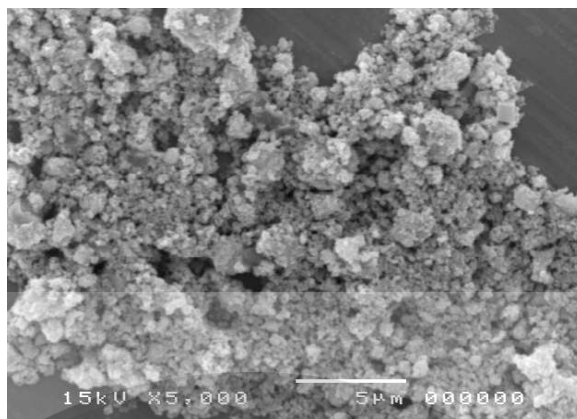


(ข)

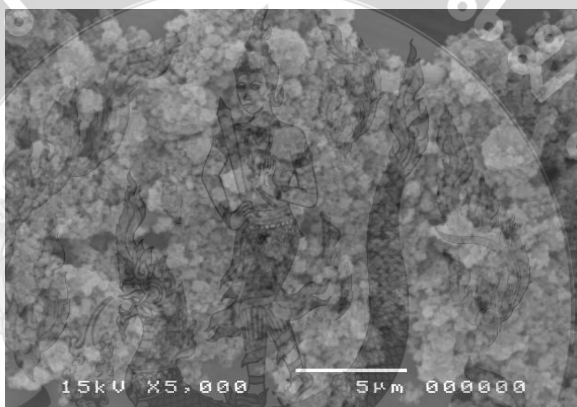


(ค)

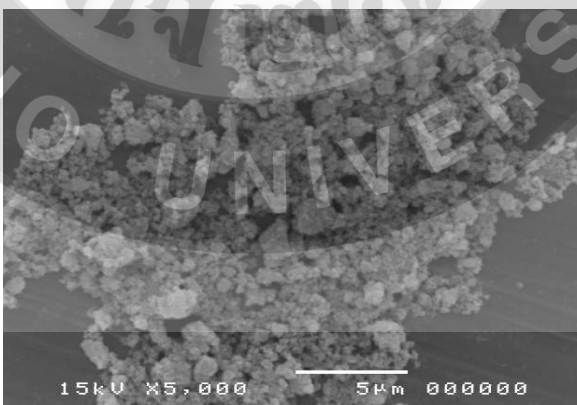
ภาพที่ 10 SEM ของผงบิสมัทธนาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์
เวลา (ก) 2 (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที



(ก)



(ข)

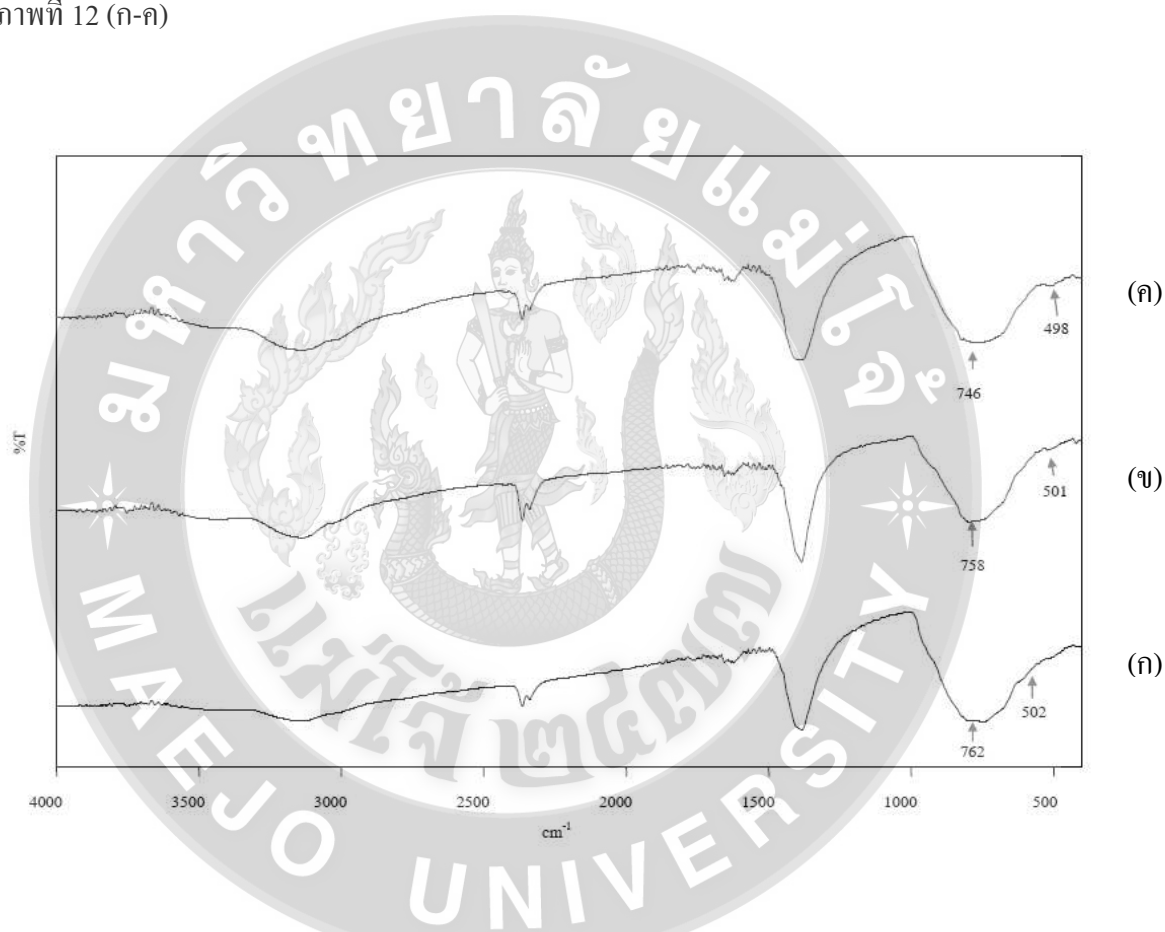


(ค)

ภาพที่ 11 SEM ของผงบิสมัทธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์
เวลา (ก) 2 (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

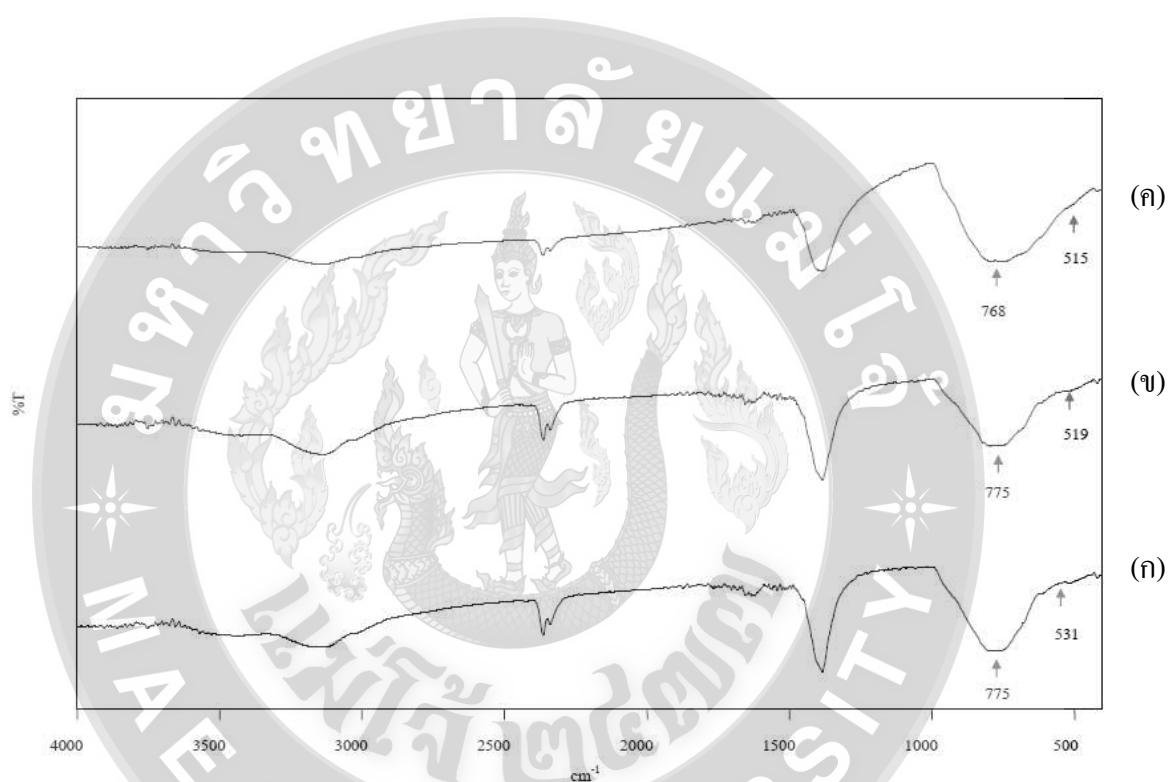
การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ในช่วงเลขคลื่น 498–502 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ bending ของพันธะ Bi-O ในช่วงเลขคลื่น 746–762 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ stretching VO_4^{3-} แสดงดังภาพที่ 12 (ก-ค)



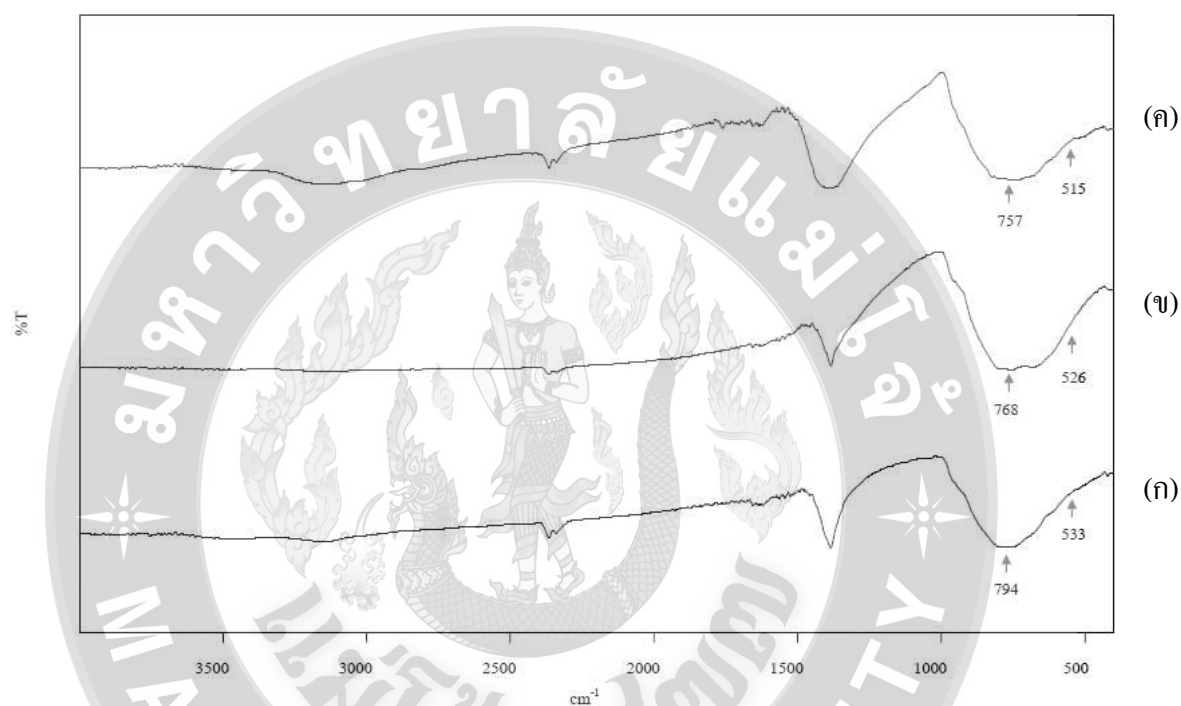
ภาพที่ 12 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

จากการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ในช่วงเลขคลื่น 515–531 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ bending ของพันธะ Bi-O ในช่วงเลขคลื่น 768–775 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ stretching VO_4^{3-} แสดงดังภาพที่ 13 (ก-ค)



ภาพที่ 13 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ เวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

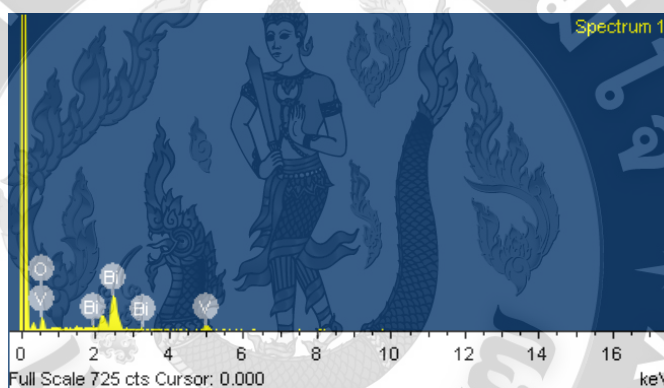
จากการวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา 2, 4 และ 6 นาที โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ในช่วงเลขคลื่น 515–533 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ bending ของพันธะ Bi-O ในช่วงเลขคลื่น 757–794 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ stretching VO_4^{3-} แสดงดังภาพที่ 14 (ก-ค)



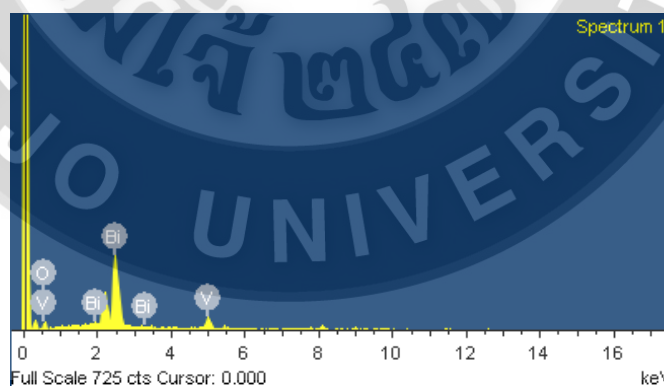
ภาพที่ 14 FTIR สเปกตรัมของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เวลา (ก) 2 นาที (ข) 4 นาที และ (ค) 6 นาที

การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์(EDS)

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของผงบิสมัทวานาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโทรมิเตอร์ พบว่า ผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ มีองค์ประกอบของธาตุ ได้แก่ ธาตุบิสมัท วานาเดียม และออกซิเจน โดยระดับพลังงานของบิสมัท $M\alpha$ เท่ากับ 2.42 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_1 เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ P. Pookmanee และคณะ^[42]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 15 EDS ของผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์

เวลา (ก) 2 (ข) 4 และ (ค) 6 นาที

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์การสลายตัวของสารละลายเมทิล โดยผงบิสมัทนาเดต จากเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

1. การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ และการสร้างกราฟมาตรฐาน

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเมทิลอยู่ในช่วงความเข้มข้น 2.0-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง กราฟมาตรฐานของสารละลายเมทิล มีค่าความสัมพันธ์ดังสมการ $y = 41.7x - 3.5857$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.999 แสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 กราฟมาตรฐานสารละลายเมทิล

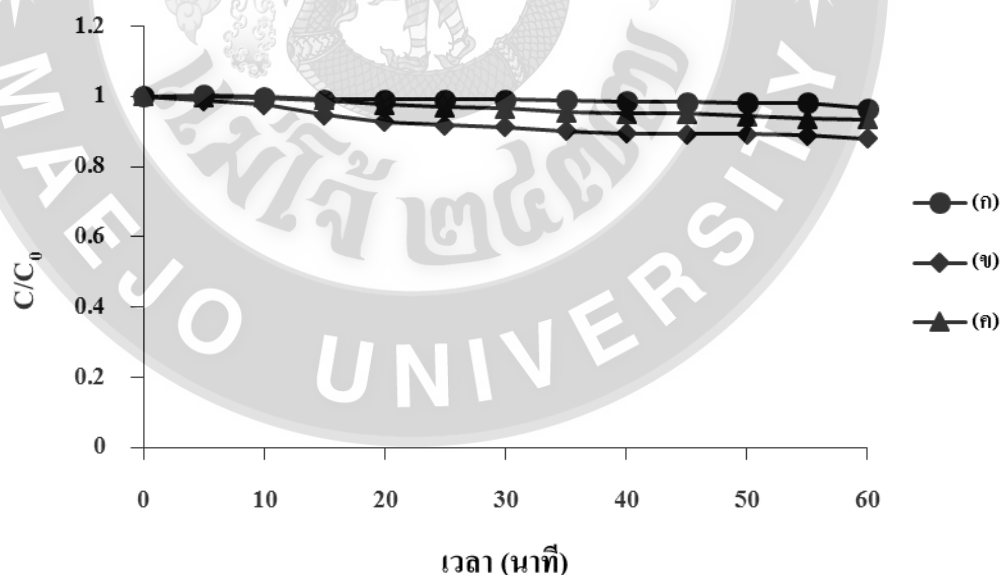
2. การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์การสลายตัวของสารละลายเมทิล

โดยผงบิสมัทนาเดต จากเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

การศึกษาการสลายตัวของสารละลายเมทิล โดยผงบิสมัทนาเดต ที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2 และ 6 นาที จากผลการทดลอง XRD แสดงภาพที่ 6 พบว่าที่ 2 และ 6 นาที มีลักษณะเป็นโครงสร้างของผงบิสมัทนาเดตเป็นโมโนคลินิกและเตตระโกนอลที่มีแนวโน้มของลักษณะโครงสร้างโมโนคลินิกที่เพิ่มขึ้น เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 7

นำผงบิสมัธวานาเดตที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่เวลา 2 และ 6 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มาศึกษาการสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง ในช่วงเวลา 0–60 นาที

จากผลการศึกษาการสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ด้วยแสงวิลบีลจะทำให้ค่า C/C_0 ของสารละลายเมทโรมิดลดลง ในช่วงเวลา 30-120 นาที มีการสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด ในเวลา 120 นาที เท่ากับ 12.04 เปอร์เซ็นต์ และผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 6 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด ในเวลา 120 นาที เท่ากับ 6.48 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังภาพที่ 17 (ก-ค) และตารางที่ 10



ภาพที่ 17 การสลายตัวของสารละลายเมทโรมิด โดยผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา (ก) ปราศจากผงบิสมัธวานาเดต (ข) 2 นาที และ (ค) 6 นาที

ตารางที่ 10 การสลายตัวของสารเมทโรมิล โดยผงบิสมัทวานาเดตที่เตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ

เวลา (นาทีก)	การสลายตัวของเมทโรมิล (C/C_0)		
	Non-BiVO ₄	BiVO ₄	
		600 Watt 2 min	600 Watt 6 min
0	1.00	1.00	1.00
5	1.00	0.98	0.99
10	0.99	0.97	0.99
15	0.99	0.94	0.98
20	0.99	0.92	0.97
25	0.99	0.91	0.96
30	0.99	0.91	0.96
35	0.99	0.90	0.95
40	0.98	0.89	0.95
45	0.98	0.89	0.95
50	0.98	0.89	0.94
55	0.98	0.88	0.93
60	0.96	0.87	0.93
% การสลายตัว	3.47	12.04	6.48

3. การหาปริมาณเมทโรมิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องโครมาโทกราฟ

ของเหลวสมรรถนะสูง

จากการทดสอบหาปริมาณเมทโรมิล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำทั้ง 3 แหล่ง ได้แก่ คลองชลประทาน นาข้าว และแปลงผัก พบว่า มีการตรวจพบในปริมาณที่น้อยกว่าขีดจำกัดในการตรวจพบโดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง เนื่องจากช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างนั้น อยู่ระยะหลังการเก็บเกี่ยว และเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกครั้งต่อไป ซึ่งการทำเช่นนั้น มีขั้นตอนสำคัญดังนี้ การเตรียมดิน การปลูก การเก็บเกี่ยว การนวดข้าว และการเก็บรักษา

หลังจากการปลูกและข้าวออกดอกหรือออกรวงประมาณ 20 วัน ชาวนาจะระบายน้ำออก จึงทำให้ตรวจพบปริมาณเมทโรนิลในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ จึงไม่ได้ศึกษาการสลายตัวของเมทโรนิลในน้ำธรรมชาติ ดังกล่าว



สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

การตรวจสอบลักษณะทางโครงสร้างของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray Diffraction, XRD)

ผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธไนเตรต:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 โดยมี 2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย พบว่า รูปแบบ XRD ของผงบิสมัธวานาเดต มีโครงสร้างแบบ โมโนคลินิกและเตตระโกนอล เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐาน Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 14-0688 และ 14-0133

จากงานวิจัยของ Naoya Murakami และคณะ^[46] ศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดต โดยวิธี ไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรต เพนตะไฮเดรต ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และ แอมโมเนียมเมทาวานาเดต (NH_4VO_3) และมีการเตรียมผงบิสมัธวานาเดตโดยผสมกับซิลิกา พบว่า ตัวอย่างของผงบิสมัธวานาเดตที่ผสมกับซิลิกามีลักษณะโครงสร้างเป็นโมโนคลินิกแบบซีไลต์ เมื่อเทียบกับ Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 00-014-0688 ลักษณะโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้ไม่ขึ้นกับปริมาณของซิลิกาที่ผสมเข้าไป ลักษณะอนุภาคของผง บิสมัธวานาเดตมีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดใหญ่ประมาณ 100–1000 นาโนเมตร โดยมีอนุภาคของ ซิลิกาเกาะอยู่บริเวณผิวของผงบิสมัธวานาเดต ในส่วนของผงบิสมัธวานาเดตที่ไม่ได้ผสมกับซิลิกา มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบเตตระโกนอลแบบซีไลต์ เมื่อเทียบกับ Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) หมายเลข 01-083-1812

จากผลการทดลอง การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที เมื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ เฟสหรือวัฏภาคของผง บิสมัธวานาเดต พบว่า ที่กำลังไฟฟ้า 600 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 6 และ 4 นาที พบว่า มีเฟสหรือวัฏ ภาคเป็นโมโนคลินิก และที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ ที่เวลา 4 นาที พบว่า ผงบิสมัธวานาเดต จะมีเฟส หรือวัฏภาคโมโนคลินิกที่เด่นชัดกว่าเตตระโกนอล

การตรวจลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธไนเตรด:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 โดยมี 2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย พบว่าผงบิสมัธวานาเดต มีลักษณะเป็นผงที่ละเอียด มีรูปร่างที่ไม่แน่นอนค่อนข้างเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.1-0.3, 0.3-0.6 และ 0.7-1.2 ไมโครเมตร ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ Elisabeth G และคณะ^[47] ศึกษาการเตรียมผงบิสมัธวานาเดต โดยวิธีการผสมออกไซด์ (oxide mixing) สารตั้งต้นที่ใช้คือ บิสมัธออกไซด์ (Bi_2O_3) และวานาเดียม เพนทอกไซด์ (V_2O_5) ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนร่วม (Co-precipitation) สารตั้งต้นที่ใช้คือ บิสมัธไนเตรด เพนตะไฮเดรต ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และแอมโมเนียม เมทาวานาเดต (NH_4VO_3) และวิธีไฮโดรเทอร์มอล สารตั้งต้นที่ใช้ คือ บิสมัธไนเตรด เพนตะไฮเดรต ($\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) และแอมโมเนียม เมทาวานาเดต ($\text{NaVO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ผงบิสมัธวานาเดตที่สังเคราะห์จากวิธีออกไซด์ผสมและวิธีตกตะกอนร่วม มีลักษณะโครงสร้างเป็นโมโนคลินิกแบบซิงไลต์ ขนาดอนุภาคมีค่าประมาณ 5 ไมโครเมตร ส่วนผงบิสมัธวานาเดตที่สังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล มีลักษณะโครงสร้างเป็นโมโนคลินิกแบบเซอร์คูล ขนาดอนุภาคมีค่าประมาณ 1-5 ไมโครเมตร

จากผลการทดลอง การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ขนาดอนุภาคของผงบิสมัธวานาเดตมีค่าเพิ่มขึ้น

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

การตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธไนเตรด:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 โดยมี 2-โพรพานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่า หมู่ฟังก์ชันของผงบิสมัธวานาเดต มีการสั่นแบบ bending ของพันธะ Bi-O ในช่วงเลขคลื่น 498-502, 515-531 และ 515-533 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ การสั่นแบบ stretching VO_4^{3-} ในช่วงเลขคลื่น 746-762, 768-775 และ 757-794 ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ และในช่วงเลขคลื่น 1390-1800 ต่อเซนติเมตร เป็นการสั่นแบบ stretching ของพันธะ N=O

จากผลการทดลอง การเตรียมผงบิสมัธวานาเดตที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2, 4 และ 6 นาที เมื่อกำลังไฟฟ้าคงที่ เวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การสั่นของพันธะ Bi-O และ VO_4^{3-} ในโมเลกุลของผงบิสมัธวานาเดต มีค่าการสั่นที่ลดลง

การตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของผงบิสมัธวานาเดต โดยเครื่องวัดการกระจายพลังงานสเปกโตรมิเตอร์ (Energy dispersive X-ray Diffractometer)

การตรวจหาองค์ประกอบทางเคมีของผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600, 700 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 2 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธในเทอร์ต:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 โดยมี 2-โพรพานอล เป็นตัวทำละลาย พบว่า มีองค์ประกอบของธาตุ ได้แก่ ธาตุบิสมัธ วานาเดียม และออกซิเจน โดยระดับพลังงานของบิสมัธ $M\alpha$ เท่ากับ 2.42 และ 3.19 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน L_1 เท่ากับ 9.42 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ มีระดับพลังงาน $L\alpha$ เท่ากับ 10.8 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และมีระดับพลังงาน $L\beta$ เท่ากับ 13.0 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ที่ระดับพลังงานของวานาเดียม $K\alpha$ เท่ากับ 4.95 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ และที่ระดับพลังงานของออกซิเจน $K\alpha$ เท่ากับ 0.52 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งมีผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ P. Pookmanee และคณะ^[42]

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์การสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธโดยผงบิสมัธวานาเดต จากเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

การศึกษาปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์การสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธโดยผงบิสมัธวานาเดต ที่เตรียมได้โดยวิธีไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ที่เวลา 2 และ 6 นาที ในอัตราส่วนโดยโมลของบิสมัธในเทอร์ต:แอมโมเนียมวานาเดต เท่ากับ 1:1 พบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการทำปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ด้วยแสงวิสิเบิลจะทำให้ค่า C/C_0 ของสารละลายเมทิลโรสมิธลดลง ในช่วงเวลา 30-120 นาที การสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธโดยการฉายแสงวิสิเบิล โดยปราศจากผงบิสมัธวานาเดต มีประสิทธิภาพการสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธ เท่ากับ 3.47 เปอร์เซ็นต์ การสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธ โดยผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 2 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธ ในเวลา 120 นาที เท่ากับ 12.04 เปอร์เซ็นต์ และผงบิสมัธวานาเดตที่ได้จากการเตรียมโดยวิธีไมโครเวฟ ที่กำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ เวลา 6 นาที ปริมาณ 0.1000 กรัม มีประสิทธิภาพในการสลายตัวของสารละลายเมทิลโรสมิธ ในเวลา 120 นาที เท่ากับ 6.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จากงานวิจัย S. Malato และคณะ^[48] ได้ทำการศึกษาการใช้ปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกส์ในน้ำที่มียาฆ่าแมลงปนเปื้อนอยู่โดยประกอบด้วย ไดูรอน (diuron) อิมิดาโคลพริด (imidacloprid) ฟอร์เมทาเนต (formetanate) และ เมทโธมิล (methomyl) อาศัยจากพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับการใช้โฟโตเฟนทอน (Photo-Fenton)(homogeneous photocatalysis) และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) (heterogeneous photocatalysis) ทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นของโฟโตแคตาลิสต์ เท่ากับ 0.05 มิลลิโมลาร์ และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าการสลายตัวของยาฆ่าแมลงที่ปนเปื้อนในน้ำมีลำดับดังนี้ formetanate > imidacloprid > diuron > methomyl (กรณีตัวแคตาลิสต์ที่ใช้คือ photo-Fento) และ diuron > methomyl > imidacloprid > formetanate (กรณีตัวแคตาลิสต์ที่ใช้คือ TiO₂)

การหาปริมาณเมทโธมิลที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง

จากการทดสอบหาปริมาณเมทโธมิล ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำ 3 แหล่ง โดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง พบว่า ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติจากแหล่งน้ำทั้ง 3 แหล่ง ได้แก่ คลองชลประทาน นาข้าว และแปลงผัก พบว่า มีการตรวจพบในปริมาณที่น้อยกว่าขีดจำกัดในการตรวจพบโดยเครื่องโครมาโทกราฟของเหลวสมรรถนะสูง เนื่องจากช่วงระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างนั้น อยู่ระยะหลังการเก็บเกี่ยว และเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูกครั้งต่อไป ซึ่งการทำนานั้น มีขั้นตอนสำคัญดังนี้ การเตรียมดิน การปลูก การเก็บเกี่ยว การนวดข้าว และการเก็บรักษา หลังจากการปลูกและข้าวออกดอกหรือออกรวงประมาณ 20 วัน ชาวนาจะระบายน้ำออก จึงทำให้ตรวจพบปริมาณเมทโธมิลในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงไม่ได้ศึกษาการสลายตัวของเมทโธมิลในน้ำธรรมชาติ ดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- [1]. อติสร จตุรพิชัย, การสลายตัวด้วยโฟโตแคตาไลติกของสารประกอบคลอโรฟีนอล โดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบแท่งที่มีการหมุนเวียน, วิทยานิพนธ์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [2]. สารพิษ [ออนไลน์] เข้าถึงจาก http://www.pcd.go.th/info_serv/en_pol_suc_school.html (สืบค้น 10 กันยายน 2557).
- [3]. ตารางปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารกำจัดศัตรูพืช ปี 2551 -2555 [ออนไลน์] เข้าถึงจาก http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=146 (สืบค้น 10 กันยายน 2557).
- [4]. ชีวพัฒน์ อรรถพลไพศาล, การคัดเลือกแบคทีเรียย่อยสลายเมโทมิลจากดินบริเวณเพาะปลูก, วิทยานิพนธ์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.
- [5]. กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย, เมโทมิล, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2541
- [6]. Shah, P. V., Monroe, R. J. and Guthrie, F. E., Comparative rates of dermal penetration of insecticides in mice. *Toxicol. Appl. Pharm.*, 1981, **59**(3), 414-423.
- [7]. Kudo, A., Ueda K., Kato H. and Mikami I., Photocatalytic O₂ evolution under visible light irradiation on BiVO₄ in aqueous AgNO₃ solution. *Catal. Lett.*, 1998, **53**, 229-230.
- [8]. Kudo, A., Omori, K. and Kato, H., A novel aqueous process for preparation of crystal form-controlled and highly crystalline BiVO₄ powder from layered vanadates at room temperature and photophysical properties. *Chem. Soc.*, 1999, **121**, 11459-11467.
- [9]. Tokunaga, S., Kato, H. and Kudo, A., Selective preparation of monoclinic and tetragonal BiVO₄ with scheelite structure and their photocatalytic properties. *Chem. Mater.*, 2001, **13**, 4624-4628.
- [10]. <http://jsmchem.co.kr/msds/MSDS-YELLOW.doc> (accessed Sep 10, 2014)
- [11]. Shen, Y., Huang, M., Huang, Y., Lin, J., and Wu, J., The synthesis of bismuth vanadate powders and their photocatalytic properties under visible light irradiation. *J. Alloy. Comp.*, 2010, **496**, 287-292

- [12]. Bismuth vanadate. <http://spie.org/x35165.xml?pf=true&ArticleID=x35165>. (accessed Sep 10, 2014)
- [13]. Bismuth vanadate. <http://spie.org/x35165.xml?pf=true&ArticleID=x35165>. (accessed Sep 10, 2014)
- [14]. 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.
- [15]. Wood, P. and Glasser, F. P., Preparation and properties of pigmentary grade BiVO_4 precipitated from aqueous solution. *Ceram. Int.*, 2004, **30**, 875-882.
- [16]. 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.
- [17]. Byrappa, K. and Yoshimura, M., Handbook of hydrothermal technology: a technology for crystal growth and materials processing, Noyes Publication, New York, 2001.
- [18]. Riman, R. A., Pugh, R. J. and Bergstrom, L., The chemical synthesis of ceramic powder; in surface and colloidal chemistry in advanced ceramics processing. *Marc. Dek. Inc.*, 1995, **22**, 2310-2313.
- [19]. Pecchi, G., Reyes, P., Sanhueza, P. and Villaseñor, J., Photocatalytic degradation of pentachlorophenol on TiO_2 sol-gel catalysts, *Chemosphere*, 2001, **43**, 141-146.
- [20]. การทำงานของเตาไมโครเวฟ [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/microwave1/index2.htm>. (สืบค้น 11 กันยายน 2557).
- [21]. กลไกการสร้างคลื่นไมโครเวฟ [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/specialnews/5/microwave/Microwave1.htm>. (สืบค้น 11 กันยายน 2557).
- [22]. กลไกการทำงานของไมโครเวฟ [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://www.pleplejung.com/2011/12/>. (สืบค้น 11 กันยายน 2557).
- [23]. วราภรณ์ ยังจิณ, การสังเคราะห์และหาลักษณะเฉพาะของผงนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีซีเทรท, ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2549.
- [24]. เมทโธมิล [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <http://suchons.wordpress.com/2013/02/20/> (สืบค้น 11 กันยายน 2557).

- [25]. สารป้องกันและกำจัดแมลง [ออนไลน์] เข้าถึงจาก
http://www.puiyaonline.com/index.php?lay=show&ac=cat_showcat&l=1&cid=12882&page=4 (สืบค้น 11 กันยายน 2557).
- [26]. สารพิษ [ออนไลน์] เข้าถึงจาก <https://sites.google.com/site/detoxcleanze/home/sanpit.htm> (สืบค้น 11 กันยายน 2557).
- [27]. Methomyl. <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/methomyl> (accessed Sep 12, 2014).
- [28]. กระบวนการโฟโตแคตาไลติกส์. <http://www.eng.ru.ac.th/envi/aj/EVE410/photocatalytic.pdf>. (accessed Sep 12, 2014).
- [29]. Photocatalytic. <http://sichon.wu.ac.th/file/envi-shh-20090110-112240-pwrqR.pdf>. (accessed Sep 12, 2014).
- [30]. Hayat, K., Gondal, M. A., Khaled, M. M. and Ahmed, S., Effect of operational key parameters on photocatalytic degradation of phenol using nano nickel oxide synthesized by sol-gel method, *J. Mol. Catal. A-Chem.*, 2011, **336**, 64-71.
- [31]. Tücks, A. and Beck, H. P., The photochromic effect of bismuth vanadate pigments. Part I: synthesis, characterization and lightfastness of pigment coatings. *J. Solid State Chem.*, 2005, **178**, 1145-1156.
- [32]. Photocatalytic. <http://www.titanpe.com/library/kb2501.htm>. (accessed Sep 12, 2014).
- [33]. Zhang, X., Ai, Z., Jia, F., Zhang, L., Fan, X. and Zou, Z., Selective synthesis and visible-light photocatalytic activities of BiVO₄ with different crystalline phases. *Material Chem. Phys.*, 2007, **103**, 162-167.
- [34]. Photocatalytic. http://puregreencoatings.com/pgc_science.aspx. (accessed Dec 12, 2011).
- [35]. Bhattacharya, A. K., Mallick, K. K. and Hartridge, A., Phase transition in BiVO₄. *Mater. Lett.*, 1997, **30**, 7-13.
- [36]. Zhou, Y., Vuille, K., Heel, A., Probst, B., Kontic, R. and Patzke, G.R. An inorganic hydrothermal route to photocatalytically active bismuth vanadate. *Appl. Catal. Gen.*, 2010, **375**, 140-148.

- [37]. Hirota, K., Komatsu, G., Yamashita, M., Takemura, H. and Yamaguchi, O. Formation, characterization and sintering of alkoxy-derived bismuth vanadate. *Mater. Res. Bull.*, 1992, **27**, 823-830.
- [38]. Liu, W., Yu, Y., Cao, L., Su, G., Liu, X., Zhang, L. and Wang, Y. Synthesis of monoclinic structured BiVO_4 spindly microtubes in deep eutectic solvent and their application for dye degradation. *J. Hazard. Mater.*, 2010. **181**, 1102–1108.
- [39]. 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.
- [40]. 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.
- [41]. Tomašević, A., Kiss, E., Petrović, S. and Mijin, D., Study on the photocatalytic degradation of insecticide methomyl in water. *Desalination*, 2010, **262**, 228-234.
- [42]. Pookmanee, P., Pingmuang, K., Phanichphant, S. and Kangwansupamonkon, W., Characterization of bismuth vanadate powder synthesized by hydrothermal method. *J. Micro. Soc. Thai.*, 2009, **23(1)**, 95-98.
- [43]. Tomašević, A., Daja, J., Petrović, S., Kiss, E. and Mijin, D., Study on the photocatalytic degradation of methomyl by uv light. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 2009, **15(1)**, 17-19.
- [44]. Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Powder Diffraction File, Card No. 14-0688, Swarthmore, PA.
- [45]. Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Powder Diffraction File, Card No. 14-0133, Swarthmore, PA.
- [46]. Murakami, N., Takebe, N., Tsubota, T. and Ohno, T., Improvement of visible light photocatalytic acetaldehyde decomposition of bismuth vanadate/silica nanocomposites by cocatalyst loading. *J. Hazard. Mater.*, 2012. **211–212**, 83–87.
- [47]. Linden, E.G., Malta, L.F.B. and Medeiros, M.E. Evaluation of synthetic routes to pigmentary grade bismuth vanadate. *Dyes Pigments*, 2011. **90**, 36–40.

- [48]. Malato, S., Blanco, J., Cáceres, J., Fernández-Alba, A.R., Agüera, A. and Rodríguez, A.,
Photocatalytic treatment of water-soluble pesticides by photo-Fenton and TiO_2 using solar
energy. *Catal. Today*, 2002. **76**, 209–220.

