



รายงานวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์
ด้วยซิลิกาจากขานอ้อยในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

Photocatalytic activity enhancement of titanium dioxide
by bagasse silica for landfill leachate treatment

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากประเภทเงินอุดหนุนการวิจัย

เพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานวิจัย

การเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์
ด้วยซิลิกาจากชานอ้อยในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

Photocatalytic activity enhancement of titanium dioxide
by bagasse silica for landfill leachate treatment

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ ดร. วิณา รองจะโปะ

สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

กันยายน 2564

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิลิกาจากขานอ้อยในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ ได้รับทุนวิจัยทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2560 ซึ่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความร่วมมืออย่างดียิ่งจากหลายฝ่ายทำให้ได้รับข้อมูลรวมทั้งประโยชน์จากการศึกษาเป็นอย่างดี คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณ ดังต่อไปนี้

ศาสตราจารย์ ดร.จตุพร วิทยาคุณ ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัย และอนุเคราะห์สถานที่รวมถึงอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการสำหรับการศึกษาวิจัย

เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการของศูนย์เครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ตัวอย่างและให้คำแนะนำในการตรวจวิเคราะห์ รวมถึงการแปลผลข้อมูล

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ให้เข้าใช้เครื่องมือวิเคราะห์วัสดุนาโน โดยเทคนิคเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)

บุคลากรของเทศบาลนครนครราชสีมา ที่อนุเคราะห์นำตัวอย่างจากหลุมฝังกลบของโรงกำจัดขยะเทศบาลนครนครราชสีมา

ท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่ารายงานการวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการนำวัสดุทางธรรมชาติมาใช้เพื่อบำบัดสารมลพิษต่อไป

วีณา รongจะโปะ

กันยายน 2564

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทคัดย่อ

น้ำชะมูลฝอยมีการเจือปนของสารมลพิษสูงจึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม ในการวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิลิกาจากขานอ้อย การสกัดขานอ้อยด้วยการย่อยด้วยกรดเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงและเตรียมวัสดุคอมโพสิตระหว่างซิลิกาและไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการสร้างโซล-เจลของจากไทเทเนียมบิวทอกไซด์ด้วยกรด แล้วเติมลงบนซิลิกาจากขานอ้อย โดยมีไทเทเนียมบิวทอกไซด์ตามสัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 10 20 และ 30 จากการวิเคราะห์อัตรลักษณ์ของผงสีขาวที่ได้จากขานอ้อยด้วยเทคนิค XRD พบว่าสารสกัดที่ได้จากขานอ้อยเป็นซิลิกา ซึ่งซิลิกาจากขานอ้อย หรือ BGS มีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 84.62 สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงถูกยืนยันการมีไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้ด้วยเทคนิค ICP-OES XRD XPS และ DR-UV-VIS ยิ่งไปกว่านั้นผลจาก DR-UV-VIS ชี้ให้เห็นว่า TiO_2/BGS มีค่าพลังงานของช่องว่างระหว่างแถบพลังงานน้อยกว่า TiO_2 สำหรับการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงการสลายเมทิลออเรนจ์ของ TiO_2 (48%) ต่ำกว่าคอมโพสิต TiO_2/BGS (12 -16%) เนื่องจากแรงผลักทางไฟฟ้าสถิตจากประจุลบบนพื้นผิวของซิลิกาไปหาแอนไอออนของเมทิลออเรนจ์ อย่างไรก็ตามในการสลายเมทิลอินบลูของคอมโพสิต TiO_2/BGS (45 -71%) ซึ่งดีกว่า TiO_2 (29%) เนื่องจากพื้นที่ผิวของเฟสที่เกิดปฏิกิริยาสูงกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีที่สุด คือ 20 % โดยน้ำหนักของ TiO_2/BGS ดังนั้น BGS จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ และในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ พบว่าค่าความสกปรกในน้ำชะมูลฝอย (COD BOD และ TSS) มีค่าลดลง เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกกำจัดด้วย BGS และ TiO_2 อย่างไรก็ตามคอมโพสิต TiO_2/BGS มีผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยใกล้เคียงกับ BGS และ TiO_2 ซึ่งแสดงถึงการทำงานร่วมกันโดยมี BGS ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

คำสำคัญ การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลิกา ขานอ้อย น้ำชะมูลฝอย

Abstract

Leachate is highly contaminated. Therefore, leachate treatment is necessary to prevent the spread of toxic substances into the environment. In this work, photocatalytic activity enhancement of titanium dioxide by bagasse silica was studied. Extraction of bagasse by acid leaching. Titanium dioxide was prepared by acid catalyzed sol-gel formation method. composite materials of bagasse silica and titanium dioxide were prepared by using sol of titanium dioxide with 10, 20 and 30 %wt loading. Characteristic of white powder which obtained from bagasse was confirmed by XRD indicating that the powder is silica. Bagasse silica (BGS) has a purity of as high as 84.62%. For photocatalysts, the presence of titanium dioxide was confirmed by ICP-OES, XRD, XPS and DR-UV-VIS. Moreover, the results from the DR-UV-VIS indicated that TiO_2/BGS has band gap energy lower than TiO_2 . For catalytic testing, the degradation of methyl orange from bare TiO_2 (48%) was better than from composite TiO_2/BGS (12 -16%) due to an electrostatic repulsion from negatively charge on silica surface to anionic species. However, photodegradation of methylene blue from TiO_2/BGS composites (45 -71%) were better than bare TiO_2 (29%) due to a higher surface area of active phase. 20 %wt of TiO_2/BGS was the best photocatalyst for this route. Therefore, BGS played a crucial role to improve the photocatalytic activities. For treatment of leachate from landfill, it was found that COD, BOD and TSS were decreased as the organic matter was removed by BGS and TiO_2 . However, the TiO_2/BGS composite had a similar leachate treatment effect to BGS and TiO_2 , indicating synergism with BGS enhancing the treatment efficiency.

Keywords Photocatalysis, Titanium dioxide, Silica, Bagasse, Landfill leachate

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำสำคัญที่ใช้ในการวิจัย	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	
2.1 น้ำชะมูลฝอย (Leachate)	4
2.2 การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)	6
2.3 การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysis)	7
2.4 ซิลิกา	9
บทที่ 3 ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	11
3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	12
3.3 การวิเคราะห์อัตลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	13
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	13
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	
4.1 อัตลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	15
4.2 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง	21
4.3 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 การเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิลิกา จากซานอ้อย	24
5.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย	24
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	30
ภาคผนวก ข กราฟมาตรฐาน	38
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการวิเคราะห์	41
ประวัติผู้วิจัย	52

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	พารามิเตอร์สำหรับติดตามน้ำชะมูลฝอย	6
2-2	สภาวะของการสกัดซีลีกาจากขานอ้อย	10
4-1	องค์ประกอบของซีลีกาที่สกัดจากขานอ้อย	16
4-2	สมบัติของตัวอย่างทั้งหมดจาก ICP-OES และ การดูดซับและการคายซับก๊าซ ไนโตรเจน	18
4-3	ลักษณะทางเคมีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการบำบัด	23
ก-1	การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วง BOD ต่างๆ	36
ข-1	ตัวอย่างการทำสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.3-4.0 mg/L	39
ข-2	ตัวอย่างการทำสารละลายมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 0.5-5.0 mg/L	40



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1	ภาพจำลองระบบฝังกลบมูลฝอยแบบดั้งเดิม (ไม่ใช้อากาศ) 4
2-2	กระบวนการการย่อยสลายของของเสียในหลุมฝังกลบ 5
2-3	องค์ประกอบของน้ำชะขยะในการย่อยสลายทางชีวภาพของมูลฝอย 5
2-4	การสลายเมทิลีนบลู (MB) ด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 7
2-5	การสลายเมทิลออเรนจ์ (MO) ด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 8
2-6	แบบจำลองโครงสร้างของซิลิกา 9
3-1	กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 11
3-2	วัตถุประสงค์การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 14
3-3	ภาพถ่ายดาวเทียมโรงกำจัดขยะเทศบาลนครนครราชสีมา 14
4-1	ชานอ้อยที่ย่อยแล้วก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) เผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 15
4-2	สัณฐานและลักษณะของซิลิกาจากชานอ้อยจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด 16
4-3	เอกลักษณ์ของตัวอย่างทั้งหมดจากเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) 17
4-4	ไอโซเทอร์มการดูดซับและการคายซับก๊าซไนโตรเจนของตัวอย่างทั้งหมด 18
4-5	ลักษณะไทเทเนียมที่มีในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดจากเทคนิค XPS 20
4-6	สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี 20
4-7	สัดส่วนเมทิลีนบลูหลังการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 22
4-8	สัดส่วนเมทิลออเรนจ์หลังการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 22

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข-1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานเมทิลีนบลู (UV-Vis spectrophotometer)	39
ข-2 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ (UV-Vis spectrophotometer)	40
ค-1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของซิลิกาจากชานอ้อยด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET	42
ค-2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET	43
ค-3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 10TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET	44
ค-4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 20TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET	45
ค-5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 30TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET	46
ค-6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของซิลิกาจากชานอ้อยด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot	47
ค-7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot	48
ค-8 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 10TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot	49
ค-9 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 20TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot	50
ค-10 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 30TiO ₂ /BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot	51

คำสำคัญที่ใช้ในการวิจัย

°C	=	degree Celsius
COD	=	Chemical oxygen demand
BOD	=	Biochemical oxygen demand
TSS	=	Total suspended solids
TDS	=	Total dissolved solids
BGC	=	Baggage silica



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การฝังกลบ (Landfill) เป็นวิธีการจัดการขยะในชุมชน โดยเฉพาะชุมชนเมืองหรือชุมชนขนาดใหญ่ ที่มีปริมาณขยะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวิธีการนี้สามารถกำจัดมูลฝอยได้เกือบทุกประเภท ลดค่าใช้จ่ายในการแยกขยะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) อย่างไรก็ตามเมื่อมีน้ำฝนที่ตกในบริเวณหลุมฝังกลบ รวมทั้งความชื้นที่เป็นองค์ประกอบของขยะมูลฝอย และสิ่งที่ได้จากการย่อยสลายขยะมูลฝอยไหลซึมออกมาในรูปของน้ำชะขยะ หรือน้ำชะมูลฝอย (Leachate) กล่าวคือน้ำเสียจากกองขยะนั่นเอง หากไม่มีการจัดการป้องกันที่ดีจะส่งผลกระทบต่อทั้งสิ่งแวดล้อมและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จึงถือได้ว่าหลุมฝังกลบเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางน้ำอย่างหนึ่ง (Taylor, 1999) น้ำชะมูลฝอยประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เชื้อโรค และสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ เมื่อมีการซึมลงสู่แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียงทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ส่งผลให้น้ำในแหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่ใช้ประโยชน์หรืออาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้น เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อุปโภคบริโภคน้ำจากแหล่งน้ำที่มีการปนเปื้อน (Chemlal และคณะ, 2013) จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำชะมูลฝอยเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysis) โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalyst) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Sarapunth และคณะ, 2016; Azadi และคณะ, 2017; Zhou และคณะ, 2017) ถึงแม้ว่าไทเทเนียมไดออกไซด์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมมาก เนื่องจากสามารถเกิดการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงได้ดี มีความเสถียรทางเคมีไม่เป็นพิษ และราคาไม่แพง แต่เนื่องจากไทเทเนียมไดออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวต่ำทำให้ง่ายต่อการเกาะกลุ่มเป็นก้อนและดูดซับสารเคมีได้น้อย (Kaneko และ Okura, 2002) การปรับปรุงประสิทธิภาพทำได้โดยการกระจายไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนวัสดุที่มีรูพรุน เช่น ซิลิกา (SiO_2) ซึ่งซิลิกาเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง สามารถดูดซับสารเคมีได้ดี (Vohra และ Tanaka, 2003; Rongchapo และคณะ, 2016) ซึ่งซิลิกาสามารถสกัดได้จากพืชชนิดต่างๆ ได้แก่ ขานอ้อย โดยปริมาณซิลิกาในขานอ้อยมีสูงกว่าร้อยละ 90 (Worathanakul และคณะ, 2009)

โครงการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิลิกาจากขานอ้อย โดยการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยการสลายสารมลพิษที่เป็นตัวแทนของการสลายตัวด้วยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Trandafilović และคณะ, 2017) ได้แก่ เมทิลีนบลู

(Methylene blue, MB) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange, MO) โดยใช้แสงยูวี และนำไปใช้ในการกำจัดค่าความสกปรก (COD BOD TSS และ TDS) ในน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

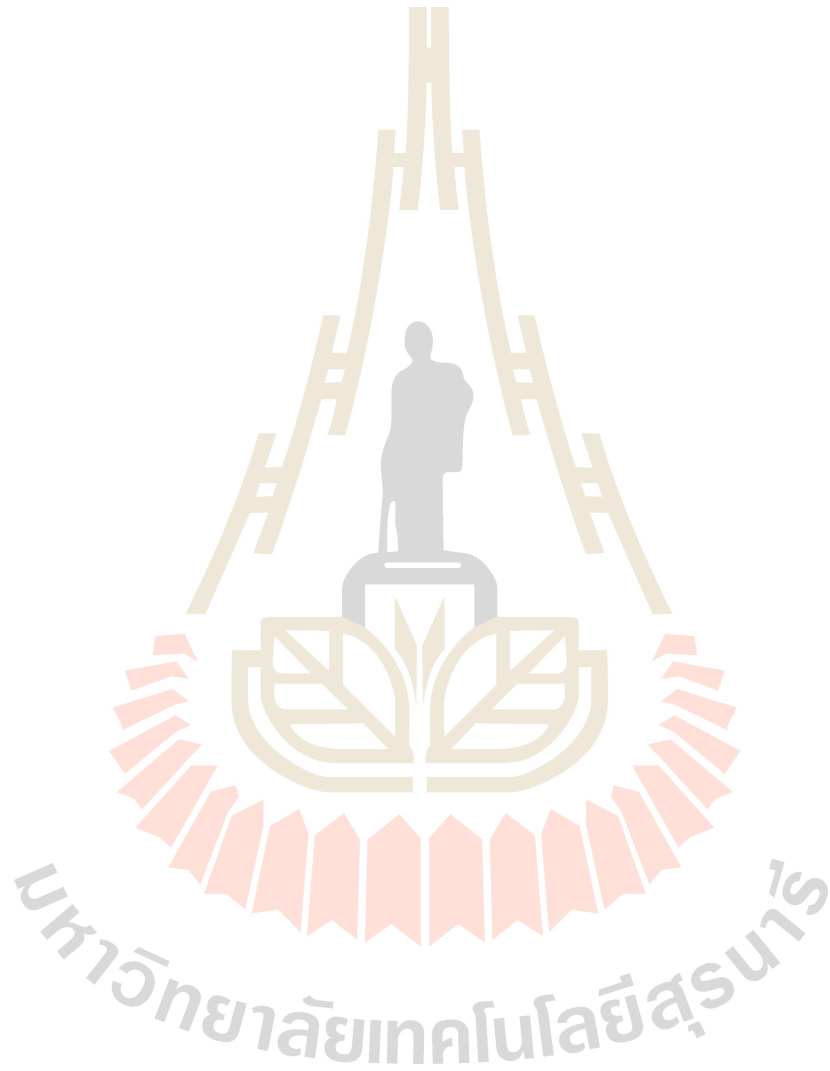
- 1.2.1 เพื่อสกัดซิลิกาจากขานอ้อยและเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากขานอ้อย
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์อัตรากำไรของซิลิกาจากขานอ้อยและตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากขานอ้อย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากขานอ้อยด้วยการกำจัดเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์
- 1.2.4 เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากขานอ้อย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงจากซิลิกาที่สกัดจากขานอ้อยด้วยการรีฟลักซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น และเผาที่อุณหภูมิสูง และเตรียมวัสดุคอมโพสิต (composite materials) ระหว่างซิลิกาและไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธีการสร้างโซล-เจลด้วยกรด (Acid catalyzed sol-gel formation method) จากไทเทเนียมบิวทอกไซด์ ($C_{16}H_{36}O_4Ti$) และวิเคราะห์อัตรากำไรของซิลิกาและซิลิกาไทเทเนียมไดออกไซด์คอมโพสิต ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ประกอบด้วย พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Powder Diffraction, XRD) วิเคราะห์หาพื้นที่ผิวด้วยวิธีการดูดซับก๊าซไนโตรเจน (N_2) วิเคราะห์องค์ประกอบและความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่องวัดพลังงานคลื่นของการเรืองรังสีเอ็กซ์ (energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, EDXRF) วิเคราะห์สัณฐานและลักษณะรายละเอียดของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersion analysis) วิเคราะห์หาปริมาณไทเทเนียมบนซิลิกาด้วยการตรวจวัดการคายแสง (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry, ICP-OES) วิเคราะห์ลักษณะของไทเทเนียมในโครงสร้างด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโคปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) และวิเคราะห์ค่าพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (DR-UV-VIS Spectroscopy) สำหรับการทดสอบคุณสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการกำจัดเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ด้วยแสงยูวีในชุดทดสอบแบบทีละเท (Batch experiment) และกำจัดค่าความสกปรก (COD BOD TSS และ TDS) ในน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ ในบริเวณพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยซิลิกาจากขานอ้อยในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ
- 1.4.2 แนวทางที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบด้วยการใช้ปฏิกิริยาเชิงแสง



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำชะมูลฝอย (Leachate)

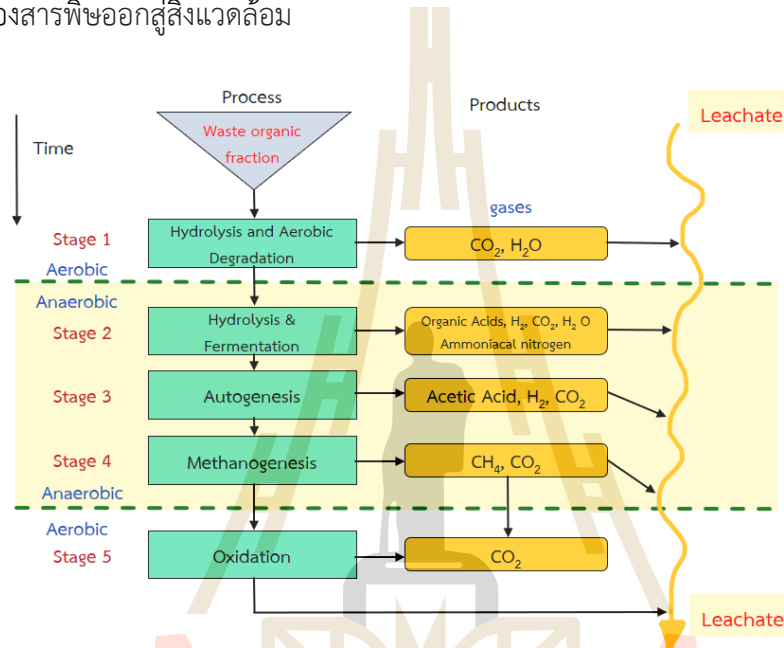
น้ำชะมูลฝอย (Leachate) คือน้ำเสียจากกองขยะที่เกิดจากการจัดการมูลฝอยชุมชนด้วยวิธีการฝังกลบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำฝน ความชื้นจากบรรยากาศ ความชื้นที่เป็นองค์ประกอบของมูลฝอยเอง และของเสียที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของมูลฝอย แสดงดัง 2-1



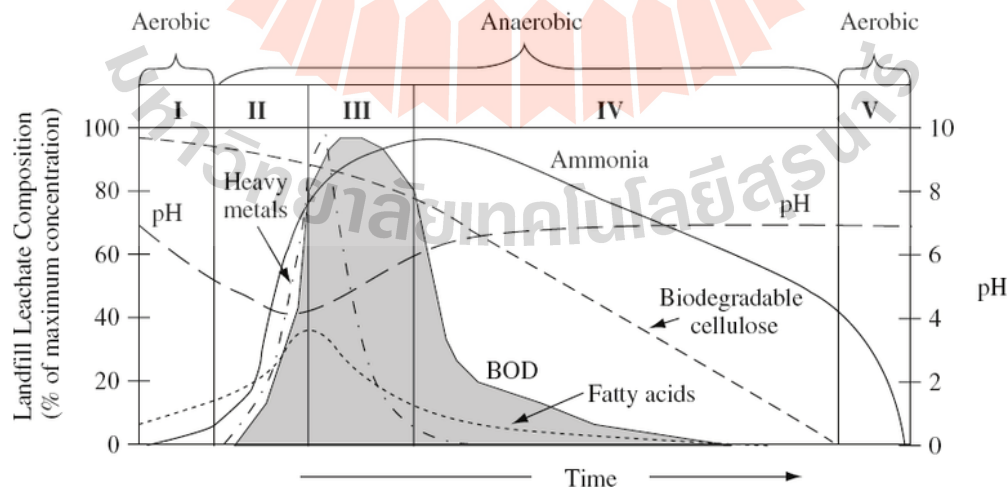
รูปที่ 2-1 ภาพจำลองระบบฝังกลบมูลฝอยแบบดั้งเดิม (ไม่ใช้อากาศ)
(ที่มา Fukuoka City Environment Bureau, 1999)

การเปลี่ยนแปลงภายในสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ แสดงดังรูปที่ 2-2 เริ่มต้นจากการที่สารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบบางส่วนเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่มีอากาศ (Stage 1) ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนที่เหลือเปลี่ยนแปลงเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กด้วยกระบวนการ Hydrolysis และสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอินทรีย์และก๊าซอื่น ๆ ด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (Stage 2) จากนั้นกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก (Stage 3) และเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (Stage 4) ตามลำดับหากก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีระดับความเข้มข้นสูงหรือสัมผัสกับความร้อนและออกซิเจนในอากาศก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Stage 5) เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) เมื่อมีน้ำซึมผ่านทำให้เกิดการชะเอาสารต่าง ๆ ออกมาด้วยน้ำชะมูลฝอยจึงประกอบด้วยสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ เชื้อโรค และสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ โดยระดับความเข้มข้นของความการปนเปื้อนสารต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละกระบวนการดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งเป็นตามระยะเวลาของการฝังกลบด้วย องค์ประกอบและร้อยละความเข้มข้นแสดงดัง รูปที่ 2-3 ดังนั้นหาก

น้ำชะมูลฝอยสามารถซึมลงสู่แหล่งน้ำในบริเวณใกล้เคียงทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ส่งผลให้น้ำในแหล่งน้ำนั้นเน่าเสีย เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2547; Taylor, 1999; Chemlal และคณะ, 2013) การปนเปื้อนที่พบในน้ำชะมูลฝอยพบทั่วไปมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดในเกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางจัดการขยะมูลฝอยชุมชนโดยใช้ค่ามาตรฐานเทียบคุณภาพน้ำทิ้ง แสดงดังตารางที่ 2.1 จึงจำเป็นต้องมีการรวบรวมและบำบัดน้ำชะมูลฝอยเพื่อป้องกันการแพร่กระจายของสารพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2-2 กระบวนการการย่อยสลายของของเสียในหลุมฝังกลบ



รูปที่ 2-3 องค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยในการย่อยสลายทางชีวภาพของมูลฝอย

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์สำหรับติดตามน้ำชะมูลฝอย

พารามิเตอร์	ค่าที่พบทั่วไป (mg/L) (ชเนศ ศรีสถิตย์, 2553)	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (mg/L) (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)
COD	3,500 – 30,000	ไม่มากกว่า 120
BOD	2,000 – 30,000	ไม่มากกว่า 20
TSS	200 – 1,000	ไม่มากกว่า 50
TDS	3,900 – 44,900	ไม่มากกว่า 3,000

2.2 การบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment)

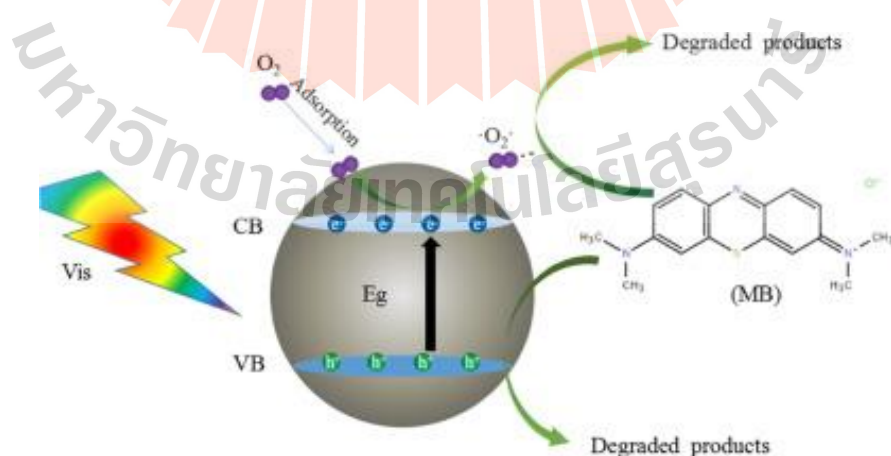
กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบ่งเป็นกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกองขยะ หรือน้ำชะมูลฝอยในประเทศไทย มีการบำบัดเบื้องต้นด้วยระบบบำบัดแบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond) ซึ่งอาศัยหลักการบำบัดทางชีวภาพที่ง่ายที่สุด โดยการเติมอากาศจากธรรมชาติ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้นประกอบกับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ส่วนผสมของสารอินทรีย์และสารปนเปื้อนที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมมีความเข้มข้นสูงขึ้น จึงมีงานวิจัยที่เสนอแนวทางในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยกระบวนการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ ระบบถังเกราะ-กรองไร้อากาศ (Septic and Anaerobic filtration system) โดยอาศัยกระบวนการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ตามธรรมชาติ ในสภาวะไร้อากาศ ไร้ออกซิเจน อาศัยเพียงชั้นตอนการแยกกากหนัก (Meukhtod, 2003) นอกจากนี้ยังมีการผสมผสานกระบวนการทางกายภาพและชีวภาพอย่างเช่น การเติมผงถ่านกัมมันต์ในระบบเอสบีอาร์ (Activated carbon in sequencing batch reactor) (Wongjard, 1999)

สำหรับน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์และสารพิษปนเปื้อนสูงต้องใช้กระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) จึงมีการใช้กระบวนการทางเคมี ด้วยการสร้างตะกอนในสภาวะกรดร่วมกับการไล่ก๊าซแอมโมเนีย (Wichitsathian, 2004) และการตกตะกอนด้วยสารเคมีร่วมกับการกรองประสิทธิภาพสูง (ระบบกรองผ่านถังกรองทราย, ระบบกรองผ่านเมมเบรนขนาด 5 ไมโครเมตรและระบบรีเวอร์ส ออสโมซิส) (Theeparaksapan, 2010) นอกจากนี้ยังมีการใช้หลักการออกซิโดซ์สารมลพิษในน้ำชะมูลฝอย ด้วยวิธีเฟนตัน (Fenton's treatment) (Praditsaree, 2012) โดยวิธีการนี้ จะต้องใช้สารประกอบเหล็ก (Fe^{2+}) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการทางเคมีมีความสามารถในการบำบัดสูง แต่เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้วทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง แต่สำหรับการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงซึ่งเป็น

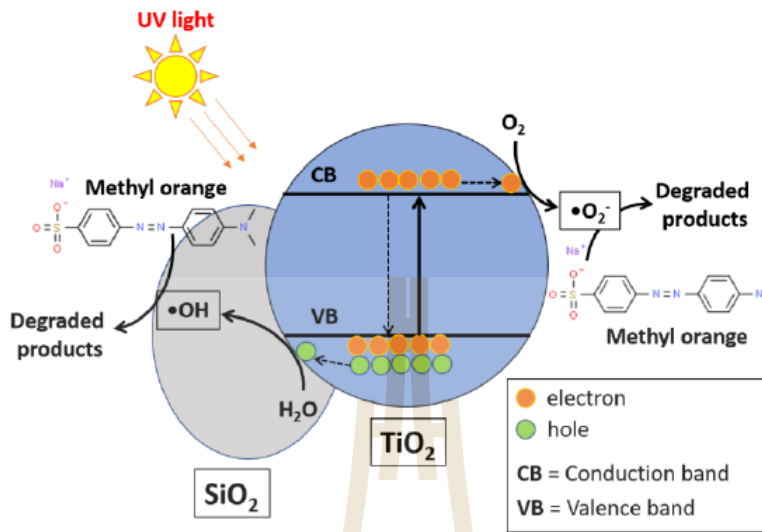
กระบวนการทางเคมีที่สามารถทดแทนได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้แสงไปกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ซึ่งตัวเร่งไม่ได้เข้าร่วมในการปฏิกิริยา เป็นเพียงตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาให้เกิดการสลายตัวของสารมลพิษผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction) โดยสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และสามารถเลือกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่มีพิษได้ เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) (Sobczykński และ Dobosz, 2001)

2.3 การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysis)

การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalysis) คือกระบวนการที่แสงให้พลังงานไปกระตุ้นอิเล็กตรอน (electron, e⁻) ที่อยู่ในแถบวาเลนซ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalyst) เมื่ออิเล็กตรอนมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าแถบช่องว่างพลังงานจะเคลื่อนไปสู่แถบการนำไฟฟ้าและจะเกิดเป็นโฮล (hole, h⁺) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์ซึ่งแสดงประจุบวก ปรากฏการณ์นี้จะเกิดเป็นคู่อิเล็กตรอน-โฮล (electron-hole pair) โดยที่โฮลจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และโฮลจะเกิดปฏิกิริยากับน้ำที่ถูกดูดซับเกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radicals, OH[•]) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง และอิเล็กตรอนจะนำไปใช้ปฏิกิริยารีดักชัน โดยอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเกิดเป็นแอนไอออนซูเปอร์ออกไซด์ (Superoxide anion, O₂⁻) และไฮโดรเจนในสารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้พื้นผิวของ ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเกิดเป็นน้ำ (H₂O) ในขณะที่แอนไอออนซูเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนในสารอินทรีย์เกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากกระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถสลายเมทิลีนบลู (Methylene blue, MB) แสดงดังรูปที่ 2-4 (Houas และคณะ, 2001, Trandafilović และคณะ, 2017) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange, MO) (Saputera และคณะ, 2021, Trandafilović และคณะ, 2017) แสดงดังรูปที่ 2-5 โดยสารอินทรีย์ทั้งสองถูกใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาการสลายตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา



รูปที่ 2-4 การสลายเมทิลีนบลู (MB) ด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Chen และคณะ, 2018)

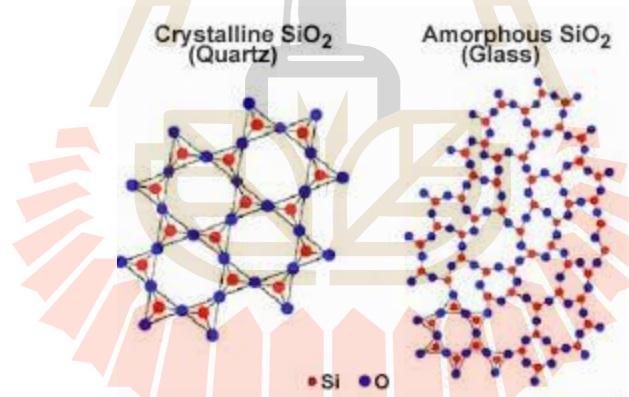


รูปที่ 2-5 การสลายเมทิลออเรนจ์ (MO) ด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Saputera และคณะ, 2021)

ปัจจุบันการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเป็นวิธีหนึ่งในการบำบัดน้ำเสีย (Saputera et al., 2021) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Sarapunth และคณะ, 2016; Azadi และคณะ, 2017; Zhou และคณะ, 2017) ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมมาก เนื่องจากราคาไม่แพงและไม่มีพิษ มีแถบช่องว่างพลังงานประมาณ 3.2 eV ใช้พลังงานจากแสงในช่วงของแสงยูวี (UV light) ในการกระตุ้นซึ่งเป็นแสงที่มีอยู่ในธรรมชาติ ไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ใช้โดยทั่วไปทางการค้า ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ทางการค้า Degussa P25 ที่มีส่วนผสมระหว่าง anatase และ rutile ประมาณ 3:1 โดยมีอนุภาคประมาณ 30 นาเมตร และมีพื้นที่ผิวประมาณ 50 ตารางเมตร/กรัม (Joseph และคณะ 2009) อย่างไรก็ตามด้วยอนุภาคที่มีขนาดเล็กง่ายต่อการเกาะกลุ่มเป็นก้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาลดลง และพื้นที่ผิวต่ำทำให้ดูดซับสารเคมีได้น้อย (Kaneko และ Okura, 2002) การปรับปรุงประสิทธิภาพทำได้โดยการกระจายไทเทเนียมไดออกไซด์ลงบนวัสดุที่มีรูพรุน เช่น ถ่านกัมมันต์ (Rojviroon และคณะ, 2015) และซิลิกา (SiO₂) (Vohra และ Tanaka, 2003; Rongchapo และคณะ, 2016) สำหรับน้ำชะมูลฝอย Rojviroon และคณะ (2015) ได้เตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี Sol-gel ร่วมกับถ่านกัมมันต์ ซึ่งพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวร่วมกับการใช้แสง UVA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดค่า COD ในน้ำชะมูลฝอยได้ ทั้งนี้ซิลิกาแม้มีการนำมาใช้เพื่อเป็นตัวรองรับให้กับไทเทเนียมแล้ว ก็ยังมีความน่าสนใจเนื่องจากซิลิกาจากวัสดุทางธรรมชาติที่แตกต่างกันจะสามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้เป็นอย่างไร

2.4 ซิลิกา

ซิลิกา คือ ธาตุซิลิกอนกับธาตุออกซิเจนมีสูตรทางเคมี หรือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีปริมาณถึง 60% ของเปลือกโลก จัดเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุในธรรมชาติ โครงสร้างของซิลิกาเป็นเตตระฮีดรอล โดยออกซิเจน 4 ตัว ล้อมรอบอะตอมกลางของซิลิกอน โดยทั่วไปซิลิกาแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะโครงสร้างคือ ผลึก (Crystal) และแก้วซิลิกา (Silica glass) แสดงดังรูปที่ 2-5 ซิลิกามีทั้งที่สังเคราะห์ขึ้นเองและที่สกัดได้จากวัสดุเหลือทางการเกษตร โดยการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมารีฟลักซ์ด้วยกรด ซึ่งเป็นการกำจัดทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ บางส่วนออกไปและนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ โดยคาร์บอนจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง (รัตน์ และนาถ, 2547) ซิลิกาสามารถสกัดได้จากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ แกลบ (Rongchapo และคณะ, 2016) และขานอ้อย (Worathanakul และคณะ, 2009) เป็นต้น ซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตมีขนาดอนุภาคเล็กและเป็นซิลิกาอสัณฐาน มีคุณสมบัติเป็นกรด มีพื้นที่ผิวสูง จากการรายงานที่ผ่านมาพบว่าซิลิกาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวและความสามารถในการดูดซับสารมลพิษอินทรีย์ ซึ่งซิลิกานำมาใช้นั้นสามารถสกัดได้จากแกลบข้าว (Rongchapo และคณะ, 2016)



รูปที่ 2-6 แบบจำลองโครงสร้างของซิลิกา

ขานอ้อย คือ เศษเหลือของลำต้นอ้อยมีลักษณะเป็นเส้นใยที่หีบเอาน้ำอ้อยหรือน้ำตาลออกจากท่อนอ้อยแล้วเป็นวัสดุเศษเหลือทางการเกษตร มีประโยชน์ในการใช้เป็นเชื้อเพลิง วัสดุคลุมดิน และบรรจุภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตามในการทำเชื้อเพลิงนั้น จากกระบวนการดังกล่าวอาจทำให้ได้ซิลิกา จากงานวิจัยพบว่า มีผู้ศึกษาการสกัดซิลิกาจากขานอ้อย โดยให้ความบริสุทธิ์สูงกว่า ร้อยละ 80 ซึ่งมีใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นย่อยที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะมีทั้งแบบย่อยก่อนแล้วจึงนำไปเผา และแบบเผาจนเป็นเถ้าแล้วเติมกรดเข้าไปในการเผา (ตารางที่ 2-2) ถึงแม้ว่าการเผาก่อนจะให้ความบริสุทธิ์สูงแต่กระบวนการมีความซับซ้อนและต้องใช้เครื่องมือที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ การย่อยด้วยกรดเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงก่อนแล้วจึงนำไปเผาในความ

ร้อนสูง เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการสกัดซิติลิกาจากวัสดุทางธรรมชาติ (Rongchapo และคณะ, 2016) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิติลิกาจากชานอ้อย เนื่องจากปริมาณซิติลิกาในชานอ้อยมีสูง โดยจะใช้การสกัดซิติลิกาด้วยการย่อยด้วยกรดเข้มข้นที่อุณหภูมิสูงก่อนแล้วจึงนำไปเผา สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยการสลายสารมลพิษที่เป็นตัวแทนในการสลายตัวด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ได้แก่ เมทิลีนบลู (Methylene blue, MB) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange, MO) โดยใช้แสงยูวี และนำไปใช้ในการกำจัดค่าความสกปรก (COD BOD TSS และ TDS) ในน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

ตารางที่ 2-2 สภาวะของการสกัดซิติลิกาจากชานอ้อย

วิธีการ	สารที่ใช้รีฟลักซ์	อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ความบริสุทธิ์	หมายเหตุ
ย่อยก่อน แล้วเผา	กรดไฮโดรคลอริก 3 M	600 °C	67.33%	Manzano และ คณะ, 2015
		700 °C	76.54%	
		800 °C	89.13%	
เผาภายใต้ การเติมกรด	กรดไฮโดรคลอริก 3 M	600 °C	89.03%	Worthanakul และคณะ, 2009

บทที่ 3

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงสามารถส่งเสริมกระบวนการทางเคมีในการบำบัดน้ำเสียได้ เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไม่ได้เข้าร่วมในการปฏิกิริยา เป็นเพียงตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาให้เกิดการสลายตัวของสารมลพิษผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) ดังนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาจึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่นิยมใช้ ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งไม่มีพิษ อย่างไรก็ตามข้อจำกัดเรื่องขนาดและพื้นที่ผิว ทำให้ต้องเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงร่วมกับวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูงอื่น เช่น ซิลิกา เพื่อลดการเกาะกลุ่มของไทเทเนียมไดออกไซด์และเพิ่มพื้นที่ผิวหน้าในการดูดซับสารมลพิษ (Vohra และ Tanaka, 2003; Rongchapo และคณะ, 2016) สมมุติฐานของการวิจัยนี้ คือ ซิลิกาจากขานอ้อยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพไทเทเนียมไดออกไซด์ในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงเพื่อสลายสารอินทรีย์ โดยเลือกเมทิลีนบลู (Methylene blue, MB) และเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange, MO) เป็นตัวแทนสารมลพิษ และการกำจัดความสกปรก (COD BOD TSS และ TDS) ในน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ



รูปที่ 3-1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมีที่ใช้ในการสกัดซิลิกา ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37% HCl, Carlo-Erba) 3.0 M และสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ไทเทเนียมบิวทอกไซด์ (99% $C_{16}H_{36}O_4Ti$, Acros) กรดไนตริกเข้มข้น (65% HNO_3 , Carlo Erba) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (97% NaOH, Carlo-Erba) และในการศึกษาปฏิกิริยา เมทิลีนบลู (99% Methylene blue, Qrec) และเมทิลออเรนจ์ (99% Methyl Orange, Qrec)

การวิจัยของโครงการวิจัย แบ่งการดำเนินการเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง การวิเคราะห์อัตลักษณ์ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง และการทดสอบประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

3.2 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

3.2.1 การสกัดซิลิกาจากขานอ้อย

วิธีการสกัดดัดแปลงมาจาก Khemthong และคณะ (2007) และ Manzano และคณะ (2015)

1. นำขานอ้อยจำนวน 50 g มาต้มกับสารละลายเข้มข้น 3.0 M ปริมาตร 500 ml อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
2. นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมีค่า pH ประมาณ 7 แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 °C
3. นำขานอ้อยที่ผ่านการอบไล่ด้วยกระเบื้อง นำไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้ซิลิกาจากขานอ้อย (Baggage silica, BGS)

3.2.2 การเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์ และไทเทเนียมไดออกไซด์กับซิลิกา

วิธีการเตรียมตาม Rongchapo และคณะ (2016)

1. เตรียมโซลของไทเทเนียมไดออกไซด์ ด้วยวิธีการสร้างโซล-เจลด้วยกรด (acid catalyzed sol-gel formation method) จากไทเทเนียมบิวทอกไซด์ และเติมซิลิกาในสารดังกล่าวโดยไทเทเนียมบิวทอกไซด์ตามสัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก 10 20 และ 30 ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 1 M ปริมาตร 40 mL กวนต่อเนื่อง 1.5-2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
2. เมื่อเกิดโซลเติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจางและปรับพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 M จนได้พีเอชประมาณ 3 จะได้สารคอลลอยด์
3. ชั่งน้ำหนักซิลิกาตามสัดส่วนร้อยละโดยน้ำหนักที่ต้องการ ลงในสารคอลลอยด์ แล้วกวนต่อเนื่องอีก 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
4. ล้างตัวอย่างที่เตรียมได้ด้วยน้ำกลั่นโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง จนกว่าพีเอชของน้ำล้างเท่ากับพีเอชของน้ำกลั่นที่ใช้ล้างเริ่มต้น
5. ตัวอย่างที่ได้นำไปอบให้แห้ง แล้วเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ที่อุณหภูมิ 300 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ซิลิกาไทเทเนียมไดออกไซด์คอมโพสิต ประกอบด้วย 10TiO₂/BGS 20TiO₂/BGS และ 30TiO₂/BGS

3.3 การวิเคราะห์อัตลักษณ์ของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

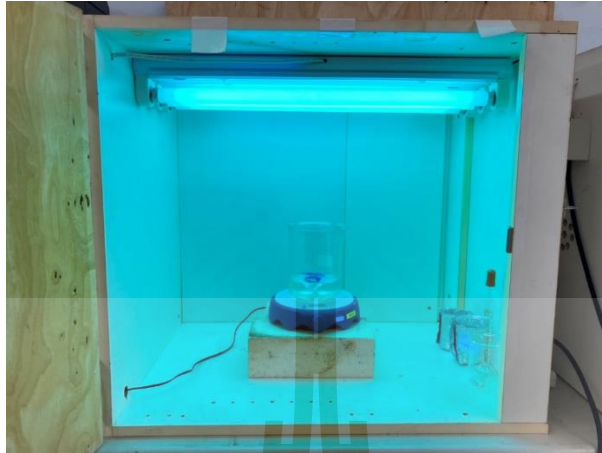
การวิเคราะห์อัตลักษณ์ของซิลิกาจากขานอ้อย และตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ได้แก่ การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Powder Diffraction, XRD) ด้วยเครื่อง Bruker axs diffractometer D5005 กับการกระตุ้นด้วยแสงของ Cu K α และวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยการดูดซับและการคายซับก๊าซไนโตรเจน (N₂) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Micromeritics (ASAP 2010)

การดองค์ประกอบและความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเครื่องวัดพลังงานคลื่นของการเรืองรังสีเอ็กซ์ (energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer, EDXRF) ยี่ห้อ Oxford ED2000 และวิเคราะห์สัณฐานและลักษณะรายละเอียดของฟิล์มบางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersion Analysis) รุ่น JCM-5000 ที่กำลังขยาย 1500 เท่า โดยทำการเตรียมตัวอย่างด้วยเครื่องเคลือบผิวตัวอย่างอัตโนมัติ Leica EM ACE 600 ก่อน

สมบัติในการมีไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยวิเคราะห์หาปริมาณไทเทเนียมบนซิลิกาด้วยการตรวจวัดปริมาณแสงที่คายออกมา (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission spectrometry, ICP-OES) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Optima 8000 โดยย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง microwave ยี่ห้อ milestone รุ่น Ethos I ในกรดไนตริกเข้มข้น 2 mL กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 8 mL และ กรดไฮโดรฟลูออริกเข้มข้น 1mL แล้วเติมกรดบอริก เข้มข้นร้อยละ 4 โดยมวลต่อปริมาตร จำนวน 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็นเป็น 50 mL ก่อน สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของไทเทเนียมในโครงสร้างด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) และวิเคราะห์ค่าพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (DR-UV-VIS Spectroscopy)

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

การทดสอบประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง นำตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมได้ BGS TiO₂ 10TiO₂/BGS 20TiO₂/BGS และ 30TiO₂/BGS ในบีกเกอร์ขนาด 1 L สารละลายเมทิลีนบลูเข้มข้น 1 ppm และเมทิลออเรนจ์เข้มข้น 2 ppm ปริมาตร 250 mL เติมตัวอย่างเข้มข้น 0.1 g-ของตัวอย่าง/L (Rongchapo และคณะ, 2016) กวนต่อเนื่อง ที่อุณหภูมิห้อง ศึกษาการดูดซับในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที และศึกษาการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยการให้แสงจากหลอดหลอดนีออนแบล็คไลท์ 18 W ยี่ห้อ Philips จำนวน 3 หลอด ในตู้ที่มีฝาปิด แสดงดังภาพที่ 3-2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เก็บสารละลายทุก ๆ 30 นาที กรองด้วยตัวกรองสำหรับกระบอกฉีดแบบ PTFE (Polypropylene) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. รูพรุน 0.45 ไมครอน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์ ด้วยเครื่อง Ultraviolet-Visible spectrophotometer (Varian Cary 1E) ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 668 และ 466 nm ตามลำดับ



รูปที่ 3-2 ตู้ทดสอบการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

หลังจากนั้น ทดสอบกับน้ำชะมูลฝอยที่เก็บจากโรงกำจัดขยะเทศบาลนครราชสีมา (รูปที่ 3-3) โดยใช้สภาวะเดียวกันกับการศึกษาการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง แต่ทดสอบความสามารถแบบทีละเท (Batch experiment) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทั้งนี้พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัดได้แก่ ติดตามการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ได้แก่ ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) บีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids, TSS) และของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids ; TDS)



รูปที่ 3-3 ภาพถ่ายดาวเทียมโรงกำจัดขยะเทศบาลนครราชสีมา

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 อັตลัษณัของตัวเร้งปฏิภริยาเซิงแสง

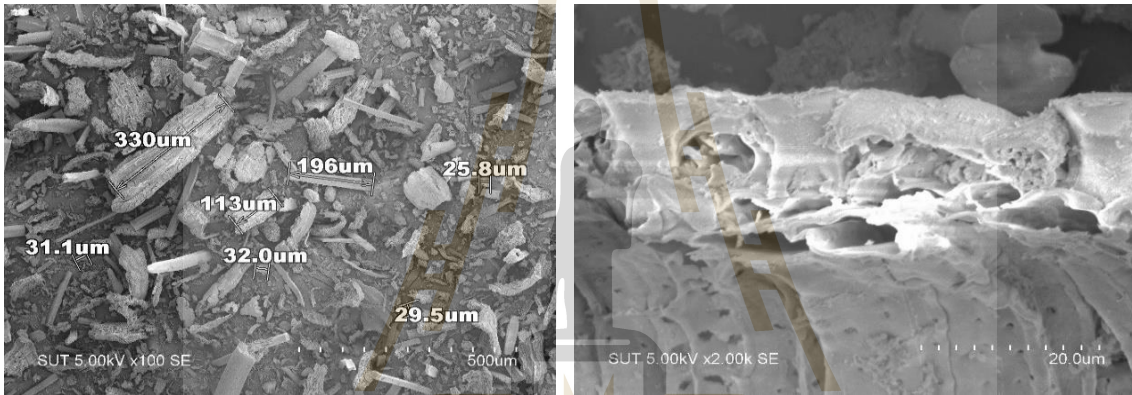
ตัวเร้งปฏิภริยาเซิงแสงในการศึกษาครั้งนีเ็นการเตรียมไทเทเนียมไดออกไซด์จากวิธการสร้างโซล-เจลด้วยกรด (acid catalyzed sol-gel formation method) ร่วมกับซิลิกาที่สกัดจากขานอ้อย การสกัดซิลิกาดัดแปลงวิธการในการย่อดัด้วยกรดตามวิธของ Khemthong และคณะ (2007) และการเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ตามวิธของ Manzano และคณะ (2015) หลังการเผาพบว่าได้ผงสีขาออกมา แสดงดังรูปที่ 4-1 โดยปริมาณซิลิกาเทียบกัปริมาณวัสดุตั้งดั้นคิดเ็นร้อยละปริมาณซิลิกาที่ได้ อยู่ทีร้อยละ 0.3 – 0.5 จากวิธการสกัดนี พบว่าได้ซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 84.62 ซึ่งสูงกว่าของ Manzano และคณะ (2015) ที่อุณหภูมิเดียวกันนี ได้ความบริสุทธิ์ร้อยละ 67.32 ส่วนสารประกอบอื่น ๆ ที่พบแสดงดังตารางที่ 2-1 สารประกอบอื่นที่พบได้มาก คือ CaO สอดคล้องตามรายงานก่อนหน้านี (Manzano และคณะ, 2015; Worathanakul และคณะ, 2009) และจากการวิเคราะห์สัณฐานและลัษณะของซิลิกาจากขานอ้อยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) แสดงดังภาพที่ 4-2 พบว่า ขนาดของซิลิกามีลัษณะเ็นแท่งและมีขนาดแตกต่างกันไปอยู่ในช่วง 24-40 μm และพื้นผิวมีลัษณะขรุขระ มีรูพรุนในโครงสร้าง



รูปที่ 4-1 ขานอ้อยที่ย่อยแล้วก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) เผาที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-1 องค์ประกอบของซิลิกาที่สกัดจากขาน้อย

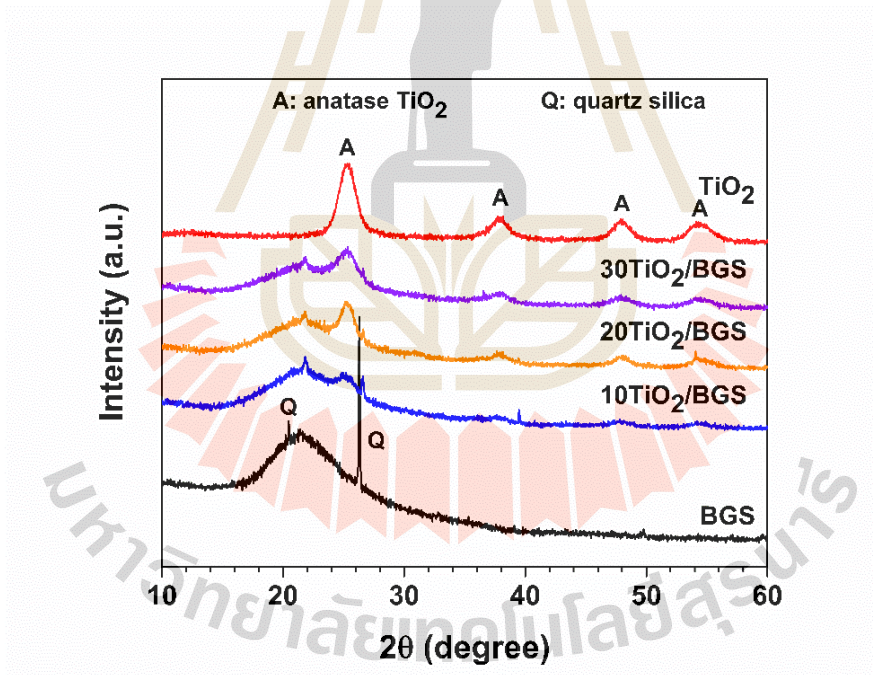
Components	%wt
SiO ₂	84.62
Al ₂ O ₃	3.50
CaO	8.06
Fe ₂ O ₃	1.50
K ₂ O	2.30



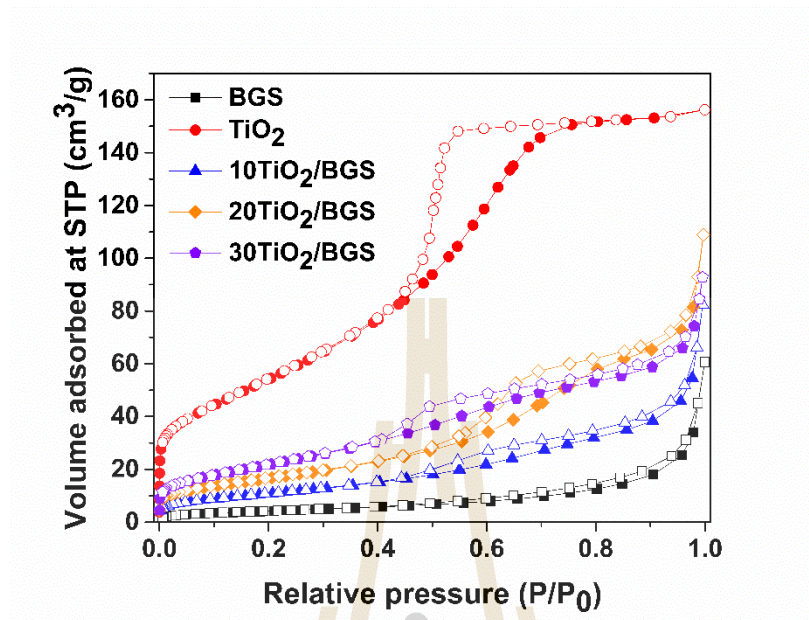
รูปที่ 4-2 สัณฐานและลักษณะของซิลิกาจากขาน้อยจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด

ซิลิกาจากขาน้อย (BGS) และตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) และ ไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากขาน้อยที่ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยมวล (10TiO₂/BGS 20TiO₂/BGS และ 30TiO₂/BGS) เมื่อนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) แสดงดังรูปที่ 4-3 พบว่าพีคของ BGS มีลักษณะกว้างอยู่ในช่วง 2θ ประมาณ 22 องศา ซึ่งแสดงถึงลักษณะเฉพาะของซิลิกาในรูปแบบของอสัณฐาน และยอดแหลมสองยอดที่ 2θ เท่ากับ 20.8 และ 26.3 องศา สอดคล้องกับระนาบ (100) และ (011) ของซิลิกาแบบควอตซ์ ตามลำดับ (JCPDS PDF No. 46-1045) ในขณะเดียวกัน ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงพบพีคที่มีลักษณะเฉพาะของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เป็นเฟสของแอนาเทสที่ 25.3, 38.0, 47.9 และ 54.4 องศาที่เกี่ยวข้องกับระนาบ (101), (112), (200) และ (105 และ 211) ที่แสดงใน TiO₂ ซึ่งตัวที่มีการรวมกันกับซิลิกาจากขาน้อย พบพีคหลักที่กล่าวมานั้น ยืนยันว่ามีไทเทเนียมไดออกไซด์ในซิลิกาจากขาน้อยโดยยังคงพบรูปแบบของอสัณฐานของซิลิกาแบบควอตซ์ นอกจากนี้พบว่า ความเข้มสูงสุดของเฟสแอนาเทสเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละของไทเทเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้นด้วย

สอดคล้องกับปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ได้ แสดงดังตารางที่ 4-2 สำหรับพื้นที่ผิวของตัวอย่างทั้งหมดที่ด้วยการดูดซับและการคายซับก๊าซไนโตรเจน (N_2) ทำให้ได้ไอโซเทอมซึ่งให้ลักษณะพื้นที่ผิวของตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 4-4 ไอโซเทอมของ BGS เป็นแบบ II ซึ่งบอกลึกลงว่าไม่มีรูพรุน ในขณะที่ไอโซเทอมของ TiO_2 เป็นแบบชนิดที่ IV (Zhang และคณะ, 2015) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของวัสดุที่มีรูพรุนขนาดกลาง (mesoporous materials) และมีห่วงฮิสเตอร์เรซิส (hysteresis loop) ชนิด H2 เป็นลักษณะการเชื่อมต่อระหว่างรูพรุน (Rouquerol และคณะ, 1999) สำหรับ TiO_2 /BGS พบว่ามี hysteresis loop แสดงการมีรูพรุนขนาดเล็กและขนาดกลาง (micro-mesoporous materials) ซึ่งให้เห็นว่าการเติม TiO_2 ช่วยเพิ่มรูพรุนตามปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เติมลงไป ซึ่งค่าพื้นที่ผิว พื้นที่ผิวด้านนอก และปริมาตรในรูพรุน (ตารางที่ 4-2) แสดงให้เห็นว่า การเติม TiO_2 ผสมกับซิลิกาเป็นวัสดุคอมโพสิต โดยปริมาณที่เติมลงไปมีสัดส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 เท่านั้น TiO_2 /BGS จึงมีพื้นที่ผิวน้อยกว่า TiO_2 อย่างไรก็ตามการเติม TiO_2 นี้ทำให้พื้นที่ผิวของซิลิกาเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน TiO_2 ที่เพิ่มขึ้นการมีไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้ค่าพื้นที่ผิวของ TiO_2 /BGS มากกว่า BGS ซึ่งให้เห็นถึงการกระจายตัวของ TiO_2 ในซิลิกาได้อย่างดี



รูปที่ 4-3 เอกลักษณะของตัวอย่างทั้งหมดจากเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD)



รูปที่ 4-4 ไอโซเทอร์มการดูดซับและการคายซับก๊าซไนโตรเจนของตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 4-2 สมบัติของตัวอย่างทั้งหมดจาก ICP-OES และการดูดซับและการคายซับก๊าซไนโตรเจน

Sample	TiO ₂ (%w/w) ^a	Surface area ^b (m ² /g)	External surface area ^c (m ² /g)	Pore volume ^c (cm ³ /g)
BGS	-	15.6	13.9	7.65 × 10 ⁻³
TiO ₂	100.0 ^c	201.9	27.7	2.04 × 10 ⁻¹
10TiO ₂ /BGS	8.01	40.4	32.6	1.76 × 10 ⁻²
20TiO ₂ /BGS	25.9	61.6	39.5	4.51 × 10 ⁻²
30TiO ₂ /BGS	26.5	81.6	32.2	5.50 × 10 ⁻²

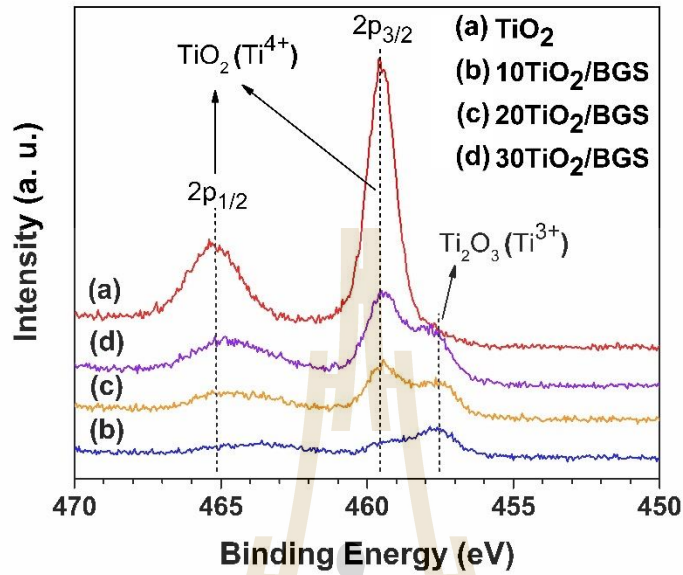
^a ICP-OES

^b N₂ adsorption-desorption analysis with BET method

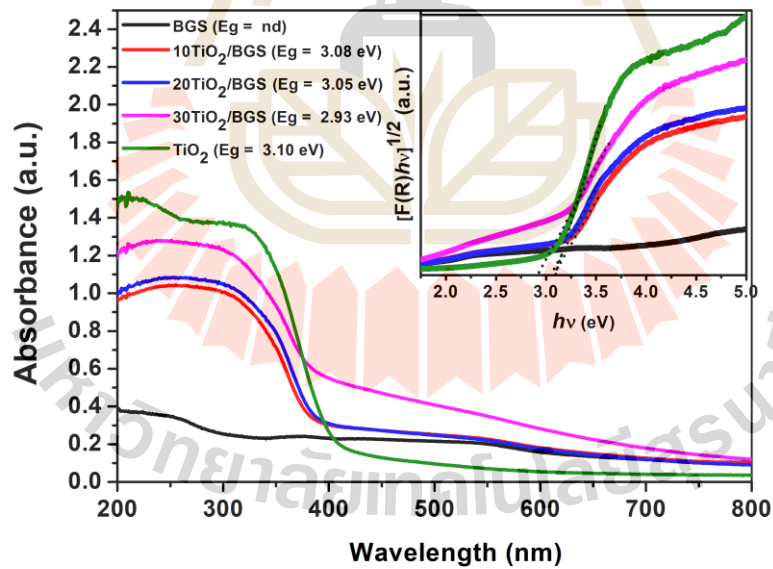
^c N₂ adsorption-desorption analysis with t-plot method

จากการวิเคราะห์ที่กล่าวมาแล้วนั้น พบว่ามีไทเทเนียมอยู่บนตัวอย่างในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ซิลิกาจากชานอ้อยเข้าร่วม จึงมีการวิเคราะห์ลักษณะของไทเทเนียมในโครงสร้างด้วยเทคนิค เอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโคปี (XPS) แสดงดังรูปที่ 4-5 พลังงานยึดเหนี่ยว (Binding energy) ที่ 459.6 (Ti2p_{3/2}) ละ 465.2 eV (Ti2p_{1/2}) เป็นเอกลักษณ์ของไทเทเนียมสปีชีส์ Ti⁴⁺ ที่พบใน TiO₂ และสารประกอบ สำหรับไทเทเนียมสปีชีส์ Ti³⁺ พบที่พลังงานยึดเหนี่ยว 57.5 eV ซึ่งพบในคอมโพสิต TiO₂/BGS นี้แสดงให้เห็นว่าอาจมีการสร้างไทเทเนียมในรูปแบบของ Ti₂O₃ บนตำแหน่งออกซิเจนบนพื้นผิวของซิลิกา (Bharti และคณะ, 2016). อย่างไรก็ตามพื้นที่ของพีคที่แสดงถึงไทเทเนียมสปีชีส์ Ti³⁺ ไม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับ ไทเทเนียมสปีชีส์ Ti⁴⁺ เฟสที่ตอบสนองเชิงแสงเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนของ TiO₂ เพิ่มขึ้น

นอกจากนี้การวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี (DR-UV-VIS Spectroscopy) แสดงดังรูปที่ 4-6 สเปกตรัมสะท้อนแสงกระจาย (%R) ถูกบันทึกในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร พลังงานของช่องว่างระหว่างแถบพลังงานได้มาจากการอนุมานพล็อตของ $[F(R)h\nu]^{1/2}$ เทียบกับพลังงานโฟตอน ($h\nu$) โดยที่ $F(R)$ คือการสะท้อนแสงที่แปลงตามฟังก์ชัน Kubelka-Munk $[F(R) = (1/R)^2/2(R)]$. ในฟังก์ชันนี้ $R = (\%R_{\text{sample}}/\%R_{\text{standard}})$ (Fatimah และคณะ, 2019; Morales และคณะ, 2007) พบว่าพลังงาน (E_g) ของ TiO₂/BGS ทั้ง 3 ตัวอย่าง ต่ำกว่า E_g ของ TiO₂ และลดลงตามร้อยละของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ค่า E_g ดังกล่าวมีส่วนเกี่ยวข้องกับการถูกกระตุ้นของอิเล็กตรอนจากสถานะพื้นไปสถานะกระตุ้น โดยทั่วไปค่า E_g ที่ต่ำกว่าจะทำให้การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดีกว่า เนื่องจากต้องการพลังงานกระตุ้นที่ต่ำกว่า ในขณะที่ BGS ไม่มีพบค่า E_g ดังกล่าว ยืนยันได้ว่าซิลิกาจากชานอ้อยไม่มีผลในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง จากผลนี้ชี้ให้เห็นว่า TiO₂/BGS คอมโพสิต มีค่า E_g ลดลงเนื่องจากการรวมตัวกับซิลิกาและเมื่อเพิ่มสัดส่วน TiO₂ มีแนวโน้มให้การเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ดีขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 4-5 ลักษณะไทเทเนียมที่มีในโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดจากเทคนิค XPS

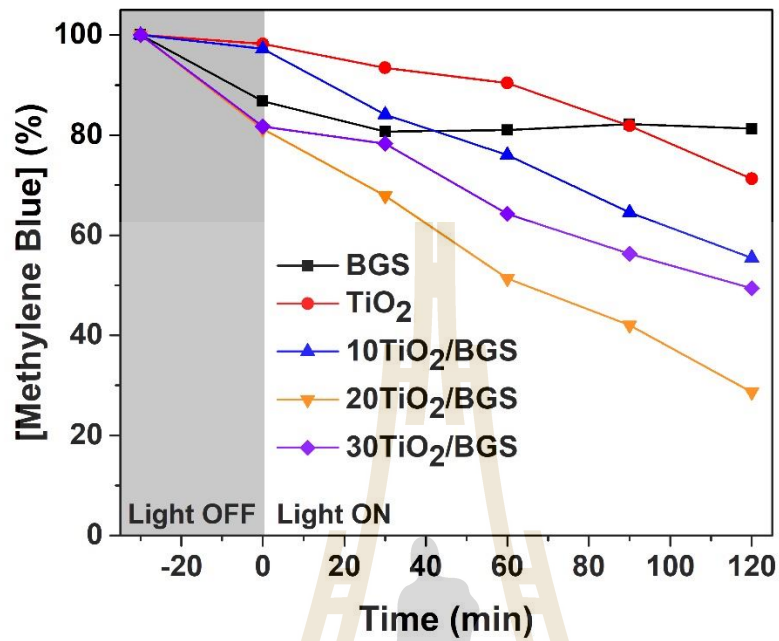


รูปที่ 4-6 สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโคปี

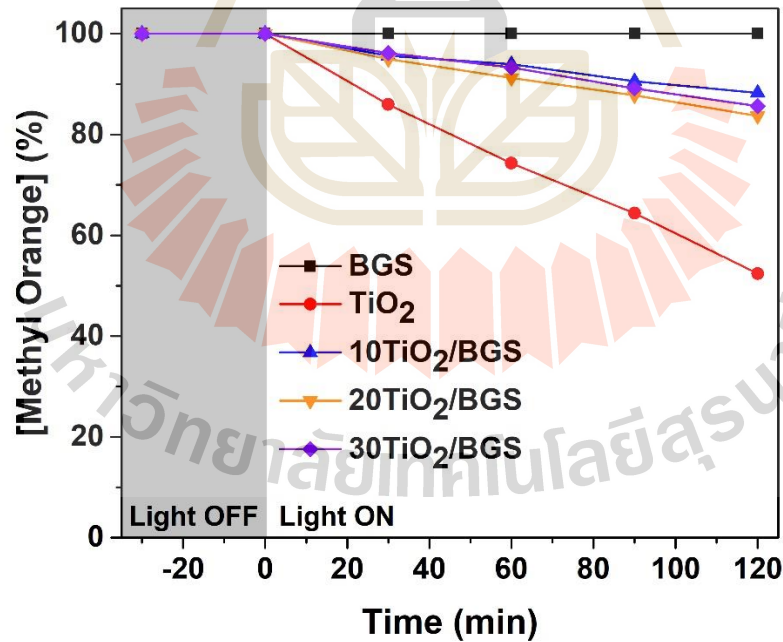
4.2 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

การศึกษาความสามารถของตัวอย่างทั้งหมด ได้แก่ ซิลิกาจากชานอ้อย (BGS) และตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และไทเทเนียมไดออกไซด์ร่วมกับซิลิกาจากชานอ้อยที่ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยมวล ($10\text{TiO}_2/\text{BGS}$ $20\text{TiO}_2/\text{BGS}$ และ $30\text{TiO}_2/\text{BGS}$) ในงานทางด้านการศึกษาประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง สารอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน ได้แก่ สารละลายเมทิลีนบลู (Houas และคณะ, 2001) และเมทิลออเรนจ์ (Saputera และคณะ, 2021) โดยติดตามความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปของเมทิลีนบลูและเมทิลออเรนจ์หลังการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง แสดงดังรูปที่ 4-7 และ 4-8 การสลายตัวด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของสีย้อมไม่ได้มาจาก BGS แสดงว่า BGS ทำหน้าที่เป็นวัสดุรองรับเท่านั้น

ในกรณีของการย่อยสลายเมทิลีนบลู TiO_2 ที่สังเคราะห์ขึ้นแบบไม่มีตัวรองรับ สามารถสลายด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงได้ 29% ในขณะที่คอมโพสิต TiO_2/BGS มีประสิทธิภาพการย่อยสลายที่ดีกว่าประมาณ 45% 51% และ 71% จาก 10%wt 30%wt และ 20%wt ของการเติม TiO_2 ตามลำดับ ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าปริมาณของ TiO_2 ที่มากเกินไปก่อให้เกิดการรวมตัว (Agglomeration) เนื่องจากสมบัติของ TiO_2 (Kaneko และ Okura, 2002) นอกจากนี้ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยพฤติกรรม การดูดซับ โมเลกุลประจุบวกของเมทิลีนบลู สามารถกระจายอย่างใกล้ชิดจนมีประจุลบที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ยืนยันได้จากความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ที่ลดลงในสภาวะไร้แสง ดังนั้น BGS จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง อย่างไรก็ตามในการย่อยสลายเมทิลออเรนจ์คอมโพสิต TiO_2/BGS ทั้งหมดมีเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสีย้อมน้อยกว่าประมาณ 15% เมื่อเทียบกับ TiO_2 ที่สังเคราะห์ขึ้นแบบไม่มีตัวรองรับที่สูงถึง 48% เนื่องจากโมเลกุลประจุลบของเมทิลออเรนจ์ อาจดูดซับตัวเร่งปฏิกิริยาได้ยาก เนื่องจากความเข้มข้นคงที่ของเมทิลออเรนจ์ในสภาวะไร้แสง ดังนั้น TiO_2 ที่สังเคราะห์ขึ้นแบบไม่มีตัวรองรับ จึงมีการเปลี่ยนแปลงที่สูงขึ้นเมื่อพบกับ เมทิลออเรนจ์ และส่งผลให้ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงดีขึ้น จากข้อมูลของ Saputera และคณะ (2021) แม้ว่าการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 มีเฟสและปริมาณของ TiO_2 ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาจะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่คอมโพสิต $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ นั้นมีการย่อยสลายประมาณ 22 ถึง 33% และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงกับ TiO_2 ทางการค้า P25 มีค่าสูงกว่าที่ประมาณ 13% ผลลัพธ์ที่ตรงกันข้ามเหล่านี้เมื่อเปรียบเทียบกับ การสลายของเมทิลออเรนจ์ในงานนี้ บ่งชี้ว่าระยะของสปีชีส์ที่ใช้งานอยู่และการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาก็มีความสำคัญเช่นกัน นอกจากนี้ ศักย์ซีต้า (Zeta potential) บนตัวเร่งปฏิกิริยาที่พื้นผิวได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิของการเผาซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติการดูดซับ (Shah และ Rather, 2021) ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีที่สุด คือ $20\text{TiO}_2/\text{BGS}$ อาจเป็นเพราะอนุภาค TiO_2 มีปริมาณที่เหมาะสม



รูปที่ 4-7 สัดส่วนเมทิลีนบลูหลังการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง



รูปที่ 4-8 สัดส่วนเมทิลออเรนจ์หลังการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

4.3 การบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ

สำหรับการทดสอบการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบของโรงรับกำจัดขยะเทศบาลนครนครราชสีมา โดยพิจารณาจากค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) บีโอดี (Biochemical oxygen demand, BOD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids, TSS) และของแข็งละลายทั้งหมด (Total Dissolved Solids ; TDS) แสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่าหลังการบำบัดด้วยตัวอย่างที่เตรียมไว้ เข้มข้น 0.1 g/L ร่วมกับการให้แสงยูวี ทดสอบแบบทีละเท (Batch experiment) กวนต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลักษณะทางเคมีของน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนไป ค่า COD BOD และ TSS มีค่าลดลง และลดลงมากที่สุดในตัวอย่างเป็นของ BGS อาจเป็นผลมาจากการดูดซับ เนื่องจากซิลิกาที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุน รวมถึงความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ และหากมีการดูดซับด้วยพันธะที่แข็งแรงจะส่งผลกระทบต่อภาระปฏิบัติการที่ลดลง (Rongchapo และคณะ, 2016) ในขณะที่ TiO_2 สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ ผลนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Sarapunth และคณะ (2016) ที่บำบัดน้ำชะมูลฝอยของเทศบาลตำบลเชียงยืน จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในรูปอะนาเทสสลายสารอินทรีย์ด้วยการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง และรายงานว่า การเพิ่มปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นการเพิ่มการขัดขวางแสงโฟตอนที่จะไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาเชิงแสง สำหรับคอมโพสิต TiO_2/BGS ที่มีปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์และซิลิกาลดลงตามสัดส่วนนั้น ยังคงบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ใกล้เคียงกับ BGS และ TiO_2 ซึ่งแสดงถึงการทำงานร่วมกันโดยมี BGS ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด สำหรับค่า TDS ที่เพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากการเติมตัวอย่างที่เตรียมไว้ในการบำบัด สอดคล้องกับรายงานของ Dechapanya และคณะ (2019)

ตารางที่ 4-3 ลักษณะทางเคมีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการบำบัด

Parameter	Leachate before treatment	Leachate after treatment				
		BGS	TiO_2	10 TiO_2/BGS	20 TiO_2/BGS	30 TiO_2/BGS
COD (mg/L)	1,380	428	660	750	690	690
BOD (mg/L)	3,278	1,640	2,503	2,378	2,215	3,193
TSS (mg/L)	1,100	650	710	790	810	645
TDS (mg/L)	2,560	3,190	3,146	3,202	3,228	3,202

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการสัทธิศาสตร์ของซิลิกาจากชานอ้อย เพื่อนำมาเตรียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงร่วมกับไทเทเนียมไดออกไซด์ แล้วนำไปทดสอบคุณลักษณะและความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำ

5.1 การเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยซิลิกาจากชานอ้อย

สารสกัดมีลักษณะเป็นผง สีขาวที่ได้จากชานอ้อย ถูกยืนยันด้วยเทคนิค XRD ว่าเป็นซิลิกา ซึ่งมีความบริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 84.62 นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตระหว่างซิลิกาและไทเทเนียมไดออกไซด์ถูกยืนยันการมีไทเทเนียมไดออกไซด์ ได้ด้วยเทคนิค ICP-OES XRD XPS และ DR-UV-VIS ซึ่งจากผลจาก DR-UV-VIS ชี้ให้เห็นว่า TiO_2/BGS มีค่าพลังงานของช่องว่างระหว่างแถบพลังงานน้อยกว่า TiO_2 สำหรับการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงการสลายเมทิลออเรนจ์ของ TiO_2 (48%) ต่ำกว่าคอมโพสิต TiO_2/BGS (12 -16%) เนื่องจากแรงผลักดันทางไฟฟ้าสถิตจากประจุลบบนพื้นผิวของซิลิกาไปหาแอนไอออนของเมทิลออเรนจ์ อย่างไรก็ตามในการสลายเมทิลีนบลูของคอมโพสิต TiO_2/BGS (45 -71%) ซึ่งดีกว่า TiO_2 (29%) เนื่องจากพื้นที่ผิวของเฟสที่เกิดปฏิกิริยาสูงกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่ดีที่สุด คือ 20 % โดยน้ำหนักของ TiO_2/BGS ดังนั้น BGS จึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงของไทเทเนียมไดออกไซด์ และในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ พบว่าค่าความสกปรกในน้ำชะมูลฝอย (COD BOD และ TSS) มีค่าลดลง เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกกำจัดด้วย BGS และ TiO_2 อย่างไรก็ตามคอมโพสิต TiO_2/BGS มีผลการบำบัดน้ำชะมูลฝอยใกล้เคียงกับ BGS และ TiO_2 ซึ่งแสดงถึงการทำงานร่วมกันโดยมี BGS ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

5.2 ข้อเสนอแนะจากการศึกษาวิจัย

1. ซิลิกาจากอ้อยมีพื้นที่ผิวน้อย ดังนั้นการเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปบนพื้นผิวมีจำกัดและมีโอกาสที่ไทเทเนียมไดออกไซด์จะไปเกาะรวมตัวกันสูงมาก จึงควรมีการศึกษาที่ร้อยละต่ำ ๆ เช่น ไม่เกินร้อยละ 10 โดยมวล เป็นต้น

2. น้ำชะมูลฝอยมีสารมลพิษหลายชนิดซึ่งอาจไม่ได้เป็นเป้าหมายโดยตรงของการสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง ดังนั้นควรมีการวิเคราะห์การปนเปื้อนของสารแต่ละชนิดก่อน จะช่วยให้เข้าใจลักษณะของการปนเปื้อนและระบุพารามิเตอร์ในการศึกษาได้เหมาะสมยิ่งขึ้น

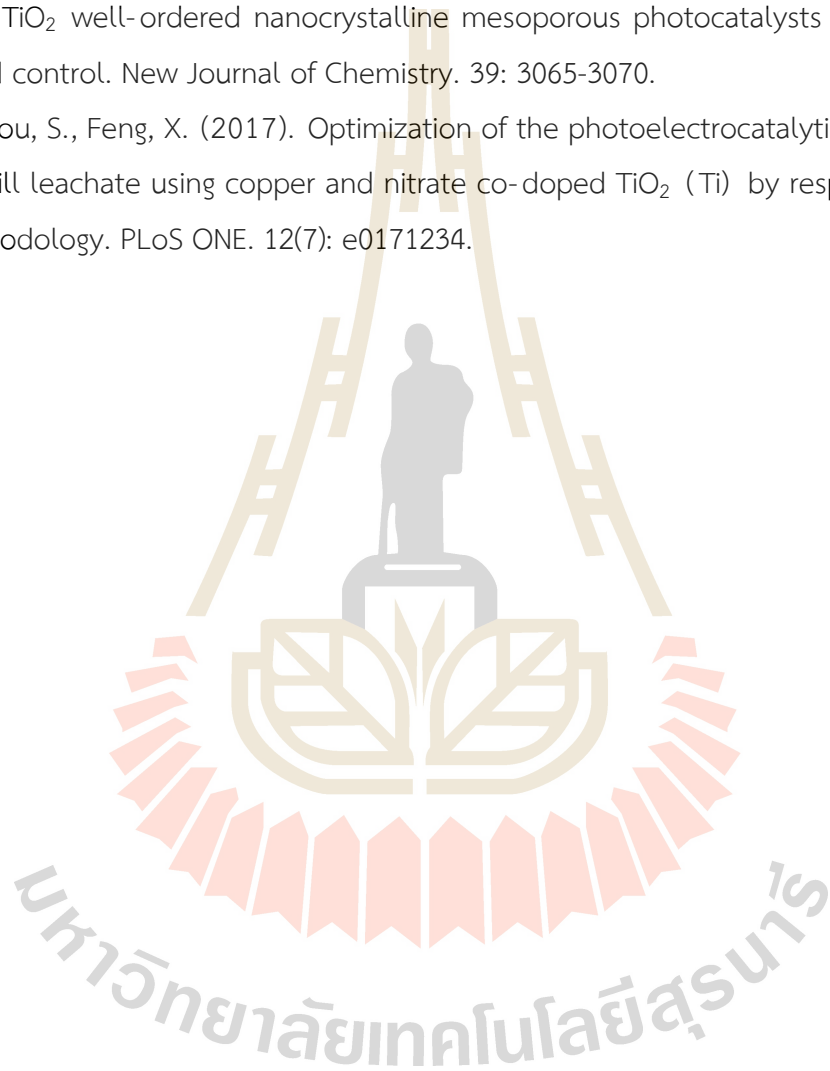
บรรณานุกรม

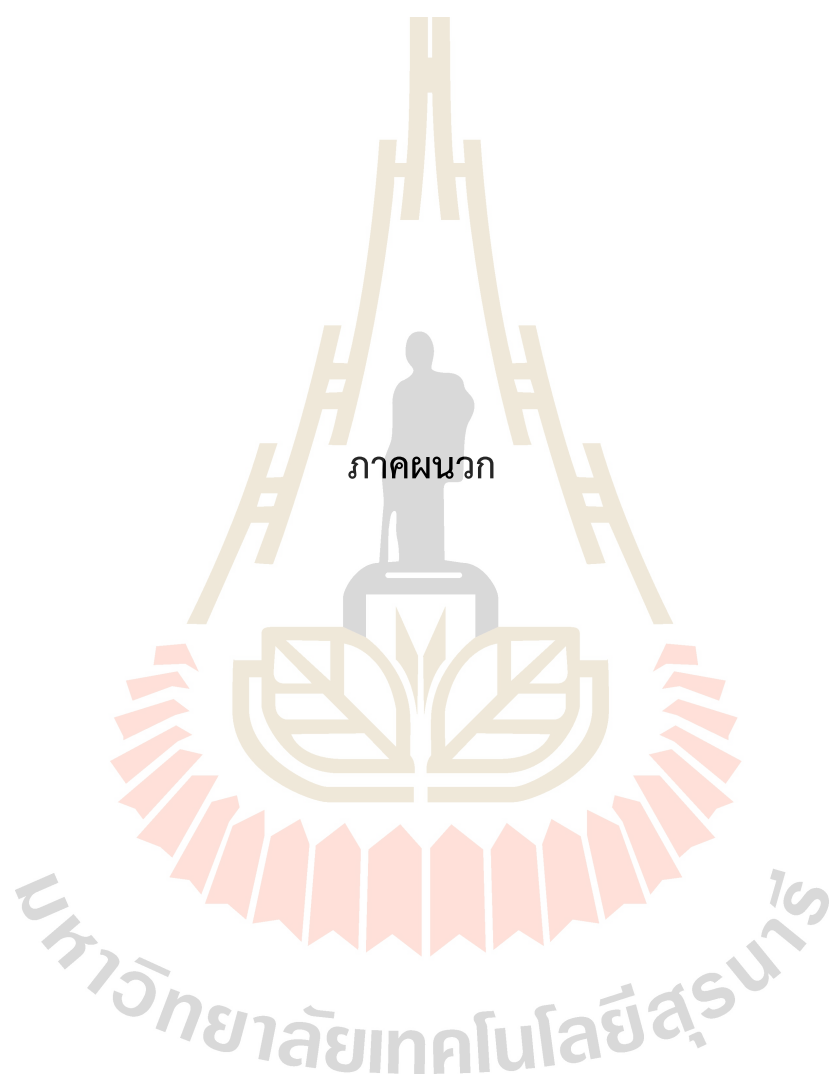
- กรมควบคุมมลพิษ (2547) การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนอย่างครบวงจร. คู่มือสำหรับผู้บริหารองค์การปกครองส่วนท้องถิ่น. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ (2544) เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางจัดการขยะมูลฝอยชุมชน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.
- กรมควบคุมมลพิษ (2559) ตำราการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรม. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ (2560) คู่มือระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- ธเนศ ศรีสถิต (2553) วิศวกรรมจัดการมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา มหาชัย และ นาถ ภูวงศ์ผา. (2547). การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยซิลิกาเจลที่เตรียมจากแกลบ. ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Azadi, S., Karimi-Jashni, A., Javadpour, S. (2017). Photocatalytic Treatment of Landfill Leachate Using W-Doped TiO₂ Nanoparticles. Journal of Environmental Engineering (United States). 143(9): 04017049.
- Bharti, B., Kumar, S., Lee, H., Kumar, R. (2016). Formation of oxygen vacancies and Ti³⁺ state in TiO₂ thin film and enhanced optical properties by air plasma treatment. Scientific Reports. 6 :32355.
- Chen, H., Chen, N., Gao, Y., Feng, C. (2018). Photocatalytic degradation of methylene blue by magnetically recoverable Fe₃O₄/Ag₆Si₂O₇ under simulated visible light. Powder Technology, 326: 247-254.
- Chemlal, R., Abdi N., Drouiche, N., Lounici, H., Pauss, A., Mameri, N. (2013). Rehabilitation of Oued Smar landfill into a recreation park: Treatment of the contaminated waters. Ecological Engineering. 51: 244–248.
- Dechapanya, W., Taweewut, K., Mungkornkaew., P., Lakawipat, T. (2019). Treatment of para rubber wastewater using fenton processes. UBU Engineering Journal. 12(2): 63 – 76.

- Fatimah, I., Prakoso, N.I., Sahroni, I., Musawwa, M.M., Sim, Y. L., Kooli, F., Muraza, O. (2019). Physicochemical characteristics and photocatalytic performance of $\text{TiO}_2 / \text{SiO}_2$ catalyst synthesized using biogenic silica from bamboo leaves, *Heliyon*, 5: e02766.
- Houas, A., Lachheb, H., Ksibi, M., Elaloui, E., Guillard, C., Herrmann, J. (2001). Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in water. *Applied Catalysis B: Environmental*, 31: 145-157.
- Kaneko, M., and Okura, I. (2002). *Photocatalysis: Science and Technology*. New York: Springer.
- Khemthong, P., Prayoonpokarach, S., Wittayakun, J. (2007). Synthesis and characterization of zeolite LSX from rice husk. *Suranaree Journal of Science and Technology*. 14: 367-379.
- Manzano, I.R.L., Begum, N., Noorliyana, A., (2015). Silica extraction from sugarcane bagasse as green corrosion inhibitor. *Asian Transactions on Basic & Applied Sciences*. 5(5): 1-3.
- Meukhtod, S. (2003). The efficiency of leachate treatment by septic-anaerobic filter system. *KKU Research Journal*. 8(2): 53-65.
- Morales, A.E., Mora, E.S., Pal, U. (2007). Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nanostructures, *Revista Mexicana de Física*. 53: 18-22.
- Praditsaree, N. (2012). Fenton's treatment of landfill leachate. Master thesis in Technology and Environment Management, Technology and Environment, Prince of Songkla university.
- Raj, K., Vishwanathan, B. (2009). Effect of surface area, pore volume and particle size of P25 titania on the phase transformation of anatase to rutile. *Indian Journal of Chemistry*. 48: 1378-1382.
- Rojviroon, O., Rojviroon, P., Sirivithayapakorn, S. (2015). Removal of color and chemical oxygen demand from landfill leachate by photocatalytic process with AC/ TiO_2 . *Energy Procedia*. 79: 536-541.
- Rongchapo, W., Khamdahsag, P., Grisdanurak, N., Prayoonpokarach, S., Wittayakun, J. (2016). Photocatalytic degradation of paraquat by using titanium dioxide on rice husk silica

- and zeolite Y in sodium form. *Suranaree Journal of Science and Technology*. 23(3): 343-350.
- Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing, K. (1999). *Adsorption by Powders and Porous Solids*. Academic Press, London, UK, 467p.
- Saputera, W.H., Egiyawati, C., Putrie, A.S., Amri, A.F., Rizkiana, J., Sasongko, D. (2021). Titania Modified Silica from Sugarcane Bagasse Waste for Photocatalytic Wastewater Treatment. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 1143: 012073.
- Sarapunth, S., Chaimoon, N., Pengchai, P. (2016). Leachate treatment with titanium dioxide (TiO₂). *KKU Journal Graduate School*. 16(2): 36-48.
- Shah, A.H., Rather, M.A. (2001). Effect of calcination temperature on the crystallite size, particle size and zeta potential of TiO₂ nanoparticles synthesized via polyol-mediated method. *Material Today: Proceedings*. 44(1): 482-488.
- Sobczyński, A., Dobosz, A. (2001). Water purification by photocatalysis on semiconductors. *Polish Journal of Environmental Studies*. 10: 195-205.
- Taylor D. (1999). Talking trash: the economic and environmental issues of landfills. *Environ Health Perspect*. 107(8): A404-9.
- Theepharaksapan, S. (2010). Chemical characteristics and bio-toxicity relationship in leachate from municipal solid waste landfill at different degree of treatment. Master thesis in Environmental Management, Graduate school, Chulalongkorn university.
- Trandafilović, L.V., Jovanović, D.J., Zhang, X., Ptasińska, S. Dramićanin, M.D. (2017). Enhanced photocatalytic degradation of methylene blue and methyl orange by ZnO: Eu nanoparticles. *Applied Catalysis B: Environmental*. 203: 740-752.
- Vohra, M.S., Tanaka, K. (2003). Photocatalytic degradation of aqueous pollutants using silica-modified TiO₂. *Water Research*. 37: 3992-3996.
- Wichitsathian, B. (2004). Application of chemical treatment for landfill leachate. New researcher scholarship, Suranaree university of technology.
- Williams P.T. (2005). *Waste treatment and disposal*, John Wiley & Sons, Ltd.
- Wongjard, J. (1999). Landfill leachate treatment by BPAC-SBR system. Master thesis in Environmental Engineering, Engineering, Chulalongkorn university.

- Worathanakul, P., Payubnop, Muangpet, A. (2009). Characterization for post-treatment effect of bagasse ash for silica extraction. Proceeding in the International Conference on Energy and Environment, Word Academy of Science, Singapore, Engineering and Technology. 56: 389-392.
- Zhang, F., Sun, D., Yu, C., Yin, Y., Dai, H., Shao, G. (2015). A sol-gel route to synthesize $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ well-ordered nanocrystalline mesoporous photocatalysts through ionic liquid control. New Journal of Chemistry. 39: 3065-3070.
- Zhou, X., Zhou, S., Feng, X. (2017). Optimization of the photoelectrocatalytic oxidation of landfill leachate using copper and nitrate co-doped TiO_2 (Ti) by response surface methodology. PLoS ONE. 12(7): e0171234.





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids, TSS) ในน้ำ
ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีการทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C รูพรุน 0.45 ไมครอน)
2. ชุดกรอง (กรวยบุคเนอร์ต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ)
3. โถทำแห้ง (Desiccator)
4. เตาอบแห้ง (Oven)
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. อบกระดาษกรองในเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (สมมติมีน้ำหนักเป็น A มิลลิกรัม) วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวย
3. เขย่าน้ำตัวอย่างให้เข้ากันดี เทน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงในกรวยบุคเนอร์ (การเลือกปริมาตรน้ำ พิจารณาจากลักษณะของน้ำและแหล่งที่มา โดยจะใช้ 50 หรือ 100 มิลลิลิตร) และเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มล. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
4. นำกระดาษที่แห้งแล้วเข้าอบในเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง
5. ทำซ้ำในข้อ 4 จนชั่งน้ำหนักกระดาษกรองได้ค่าคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 (สมมติมีน้ำหนักเป็น B มิลลิกรัม)

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในน้ำ X มิลลิลิตร = (B-A) มิลลิกรัม

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในน้ำ 1000 มิลลิลิตร = $\frac{(B-A) \times 1000}{X}$

ให้คิดหน่วยของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เป็น มิลลิกรัม/ลิตร

2. การวิเคราะห์ปริมาณของละลายทั้งหมด (Total dissolved solids, TDS) ในน้ำ

ตรวจวิเคราะห์ของแข็งละลาย (อบแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส) (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C รูพรุน 0.45 ไมครอน)
2. ชุดกรอง (กรวยบุคเนอร์ต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ)
3. ถ้วยระเหย (Evaporation dishes) ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
5. เตาอบแห้ง (Oven)
6. โถทำแห้ง (Desiccator)
7. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยระเหยในเตาอบแห้งที่อุณหภูมิ 180±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถทำแห้ง
2. ชั่งน้ำหนักถ้วยระเหยจนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ (สมมติมีน้ำหนักเป็น A มิลลิกรัม)
3. ต่อชุดกรอง วางกระดาษกรองลงในกรวยบุคเนอร์ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวย
4. เขี่ยน้ำตัวอย่างให้เข้ากันดี เทน้ำตัวอย่างที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงในกรวยบุคเนอร์ (การเลือกปริมาตรน้ำ พิจารณาจากลักษณะของน้ำและแหล่งที่มา โดยจะใช้ 50 หรือ 100 มิลลิลิตร) และเปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่องกรองด้วยน้ำกลั่น 10 มล. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที
5. ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรองนี้ 50 – 100 มล. ใส่ลงในถ้วยระเหย นำไประเหยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนแห้ง แล้วนำไปอบแห้งที่ 180±2 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งและชั่งน้ำหนัก (B) (ถ้าตัวอย่างมีปริมาณสารละลายน้อยกว่า 0 มก./ล. ใช้น้ำตัวอย่าง 250 มิลลิลิตร)

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ในน้ำ} \times \text{มิลลิลิตร} = (B-A) \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด ในน้ำ} \frac{1000 \text{ มิลลิลิตร}}{\text{X}} = (B-A) \times \frac{1000}{\text{X}}$$

ให้คิดหน่วยของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด เป็น มิลลิกรัม/ลิตร

3. การวิเคราะห์ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ในน้ำ

ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close reflux method) (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อย (Digestion vessels) เป็นหลอดแก้วบอโรซิลิเคท (Borosilicate) ขนาด 20×150 mm
2. ตะแกรงใส่หลอดทดลอง
3. ตู้อบ (oven)
4. บิวเรตต์
5. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมท (Standard potassium dichromate solution) 0.0167 โมลาร์ : ละลายโพแทสเซียมไดโครเมท ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งอบแห้งที่ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หนัก 4.913 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเมอร์คิวริกซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ปล่อยให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

2. กรดซัลฟิวริกเอเจนต์: ซิงซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 กรัม ใส่ลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้หมด ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard FAS) 0.1 โมลาร์ : ละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 39.2 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

เปิดสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมท 0.0167 โมลาร์ 3.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 5.0 มิลลิลิตร แล้วจึงค่อย ๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 7.0 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนได้สีน้ำตาลแดงเป็นจุดยุติ ทำการทดสอบซ้ำ 2 ครั้ง

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

$$\text{โมลาริตีของเอฟเอเอส} = \frac{\text{ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท} \times 0.10}{\text{ปริมาตรเอฟเอเอสที่ใช้ไทเทรต}}$$

4. สารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์: ละลาย 1,10 ฟีนานโทลีนโมโนไฮเดรต (1,10-phenanthroline monohydrate, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต (Ferrous sulfate, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 100 มิลลิลิตร

5. **กรดซัลฟามิค:** ใช้สำหรับป้องกันการรบกวนของไนไตรท์ ปริมาณที่ใช้ คือ 10 มิลลิกรัม ต่อทุก ๆ 1 มิลลิกรัมของไนไตรท์

6. **สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate หรือ KHP):** บดโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต เพื่อลดขนาดลงและนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส จนแห้งและมีน้ำหนักคงที่ แล้วละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ที่บดและอบแห้งแล้ว 0.425 กรัม ในน้ำกลั่น เจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีค่า COD เท่ากับ 500 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถเก็บรักษาในตู้เย็นได้นานไม่เกิน 3 เดือน

7. **สารละลายกลูโคส:** ละลายกลูโคส 486.6 มิลลิกรัมในน้ำกลั่น แล้วเจือจางให้เป็น 1000 มิลลิลิตร สารละลายนี้มีค่า COD เท่ากับ 500 มิลลิกรัม/ลิตร (กลูโคส 1 กรัม จะให้ COD 1.067 กรัม) สารละลายกลูโคสจะไม่ค่อยคงตัวเพราะสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว

วิธีวิเคราะห์

1. กลั้วล้างหลอดย่อยและฝาปิดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก 20% ประมาณ 2-3 มิลลิลิตร ทุกครั้งก่อนการใช้งาน เพื่อป้องกันการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์
2. เลือกใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างมากที่สุด 5 มิลลิลิตร หรือน้อยกว่า แล้วเติมน้ำกลั่นให้เป็น 5 มิลลิลิตร
3. ใส่ตัวอย่างน้ำลงในหลอดแก้ว เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมท 3.0 มิลลิลิตร ตามด้วยกรดซัลฟิวริก 7.0 มิลลิลิตร อย่างช้า ๆ แล้วปิดฝาให้แน่นและผสมให้เข้ากันดี สำหรับแปลงค์เตรียมเช่นเดียวกับตัวอย่าง แต่เปลี่ยนน้ำตัวอย่างเป็นน้ำกลั่น
4. วางหลอดแก้วในตะแกรงใส่หลอดทดลอง แล้วใส่ตุ้บ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เมื่อครบ 2 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตุ้บทิ้งไว้ให้เย็น
6. เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปชมพู่ เติมเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ 1-2 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต สีของสารละลายจะค่อย ๆ เปลี่ยนจากฟ้าอมเขียวเป็นน้ำตาลแดง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติ (ถึงแม้ว่าสีฟ้าอมเขียวจะกลับมาปรากฏอีกในหลายนาทีต่อมา) จดปริมาณสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไทเทรต

4. การวิเคราะห์บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ในน้ำ

ตรวจวิเคราะห์ด้วยวิธี BOD 5 day test (APHA, AWWA, WPCF, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร พร้อมจุกปิดสนิท ขวดที่ใช้ต้องสะอาด ปราศจากสารอินทรีย์ การทำความสะอาดควรล้างด้วยสารละลายโครมิก แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ฉีดน้ำกลั่นล้างอีกหลาย ๆ ครั้ง คว่ำให้แห้ง

2. ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งควบคุมได้ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
3. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น กระจกบดทวง บิวเรตต์ ขวดรูปกรวย เป็นต้น
4. เครื่องจ่ายลมบน แบบเดียวกับที่ใช้กับตู้เลี้ยงปลาสวยงาม และหัวลูกฟู่ (หัวจ่ายลม)

สารเคมี

1. **สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์:** ละลายโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 33.4 กรัม โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร แล้วเจือจางให้เป็น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมี pH เท่ากับ 7.2

ข้อควรระวัง ให้เททิ้งทันทีถ้าพบเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในขวดเก็บสารละลาย

2. **สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต:** ละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 22.5 กรัมในน้ำกลั่น เจือจางเป็น 1 ลิตร

3. **สารละลายแคลเซียมคลอไรด์:** ละลายแคลเซียมคลอไรด์ปราศจากน้ำ (anhydrous CaCl_2) 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

4. **สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์:** ละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 0.25 กรัม หรือละลาย FeCl_3 0.14 กรัม แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

5. **สารละลายแมงกานีสซัลเฟต:** ละลายแมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 364 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตเตตระไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 480 กรัม หรือแมงกานีสซัลเฟตไดไฮเดรต ($\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 400 กรัม ในน้ำกลั่น กรองแล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

6. **สารละลายอัลคาไลน์-ไอโอดีน-เอไซด์ (Alkali-Iodide-Azide reagent):** ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 500 กรัม (หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 700 กรัม) และโซเดียมไอโอดีน (NaI) 135 กรัม (หรือโพแทสเซียมไอโอดีน 150 กรัม) ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร (เตรียมเพียง 500 มิลลิลิตร) และละลายโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร แล้วเติมลงในสารละลายข้างต้น

7. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น

8. **น้ำแป้ง:** ละลายแป้ง (Soluble starch) 2 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100 มิลลิลิตร และเติมกรดซาลิไซลิก 0.2 กรัม

9. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต 0.025 โมลาร์ : ละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) จำนวน 6.205 กรัม ในน้ำกลั่น ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร เทียบค่าความเข้มข้นกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต 0.025 โมลาร์ โดยนำไปทดสอบ เก็บรักษาโดยการเติมคลอโรฟอร์ม 5 มิลลิลิตร หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม ต่อสารละลาย 1 ลิตร

10. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต 0.0021 โมลาร์ : ละลายโพแทสเซียมไอโอเดต ($\text{KH}(\text{IO}_3)_2$) 0.8124 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเจือจางเป็น 1 ลิตร

การหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟต

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ประมาณ 2 กรัม ในน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 โมลาร์ จำนวน 1 มิลลิลิตร หรือกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไอโอเดต 20 มิลลิลิตร แล้วทำให้เจือจางเป็น 200 มิลลิลิตร แล้วไทเทรตไอโอดีนซึ่งถูกขับออกมาด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟต เติมน้ำแบ่งเมื่อใกล้ถึงจุดยุติ สังเกตจากสีของสารละลายจะมีสีเหลืองอ่อน ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ พอดี ปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรตจะเท่ากับ 20 มิลลิลิตร ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโอซัลเฟตไม่ได้ค่าดังกล่าว ให้ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 0.025 โมลาร์

ตารางที่ ก-1 การเลือกขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางสำหรับช่วง BOD ต่าง ๆ

ปริมาณตัวอย่าง (มล.)	ช่วงบีโอดี (มก./ลิตร)	อัตราการเจือจาง
0.02	30,000 - 105,000	15,000
0.05	12,000 - 42,000	6,000
0.10	6,000 - 21,000	3,000
0.20	3,000 - 10,500	1,500
0.50	1,200 - 4,200	600
1.0	600 - 2,100	300
2.0	300 - 1,050	150
5.0	120 - 420	60
10.0	60 - 210	30
20.0	30 - 105	15
50.0	12 - 42	6
100	6 - 21	3
300	0 - 7	1

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมน้ำผสมเจือจาง โดยนำน้ำกลั่นที่ปรับอุณหภูมิเป็น 20 องศาเซลเซียส จำนวน 1 ลิตร และเติมฟอสเฟตบัพเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์และเพอริคลอไรด์ อย่างละ 1 มิลลิลิตร แล้วเป่าอากาศ ให้มีออกซิเจนละลายอิ่มตัว
2. เลือกปริมาณตัวอย่างที่จะใช้ ถ้าไม่ทราบค่าบีโอดีโดยประมาณ ให้หาซีโอดีก่อน โดยพิจารณาถึงลักษณะของตัวอย่างน้ำและแหล่งเก็บด้วย เพื่อกะปริมาณค่าบีโอดี เมื่อทราบค่าบีโอดีโดยประมาณแล้ว ควรเลือกปริมาณตัวอย่างที่คาดว่าจะให้ค่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วจึงเลือกปริมาณตัวอย่างที่ใช้ให้สูงและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันตามตารางที่ ก-1
3. เมื่อเลือกปริมาณตัวอย่างแล้ว ปิดตัวอย่างตามจำนวนที่เลือกไว้ลงในขวดบีโอดี อย่างละ 2 ขวด เติมน้ำสำหรับใช้เจือจางจนเต็มขวดบีโอดี ต้องระมัดระวังพยายามอย่าให้เกิดฟองอากาศ ปิดฝาให้แน่น นำขวดบีโอดีหนึ่งขวดของแต่ละปริมาตรที่เลือก หาค่าออกซิเจนละลายเริ่มต้นโดยวิธี Azide Modification สมมติเป็น DO_0 ส่วนอีกขวดนำไปบ่มที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
4. เมื่อครบ 5 วัน นำขวดบีโอดีที่บ่มไว้มาหาค่าออกซิเจนละลายที่เหลืออยู่ โดยวิธี Azide Modification สมมติเป็น DO_5

วิธี Azide Modification

1. นำขวดบีโอดีจากข้างต้นมาเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4$) 1 มิลลิลิตร และสารละลายอัลคาไล-ไอโอดด์-เอไซด์ (Alkali-iodide-azide) 1 มิลลิลิตร โดยให้ปลายปิเปตอยู่ข้างขวด ปิดจุกขวด ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ เขย่าให้เข้ากัน โดยการกลับขวดไปมาประมาณ 15 ครั้ง แล้วตั้งทิ้งให้ตกตะกอน จนได้ปริมาณน้ำใสประมาณครึ่งขวด (จะเกิดตะกอนสีน้ำตาล และถ้าเกิดตะกอนสีขาวแสดงว่าตัวอย่างน้ำไม่มีออกซิเจนละลาย)
2. เปิดจุกออกแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 มิลลิลิตร โดยปล่อยให้กรดค่อยๆ ไหลลงไปตามข้างๆ คอขวด โดยให้ปลายปิเปตอยู่เหนือผิวหน้า ปิดจุกขวดก่อนตะกอนจะล้นออกจากปากขวด เขย่าให้เข้ากันโดยการกลับขวดไปมาจนกระทั่งตะกอนละลายหมด
3. ตวงน้ำจากขวดบีโอดีมา 201 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) 0.025 โมลาร์ จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแบ่ง 2-3 หยด (1 มิลลิลิตร) จะได้สีน้ำเงินเข้ม แล้วไทเทรตจนถึงจุดยุติเป็นสารละลายไม่มีสี จดปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไป

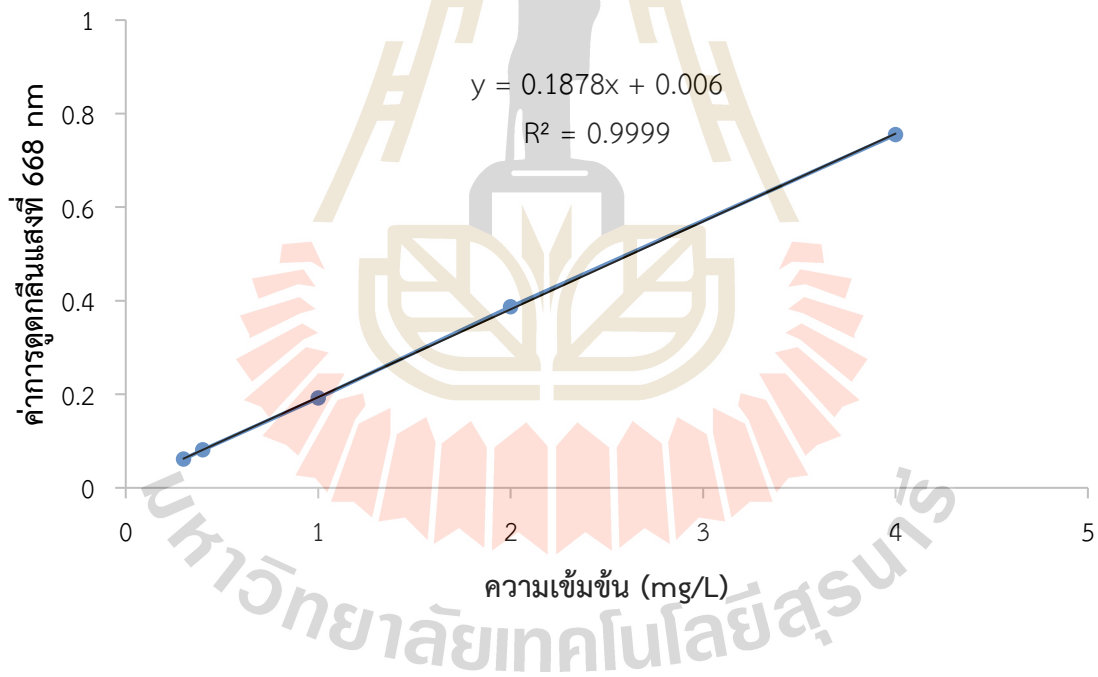
ภาคผนวก ข
กราฟมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข-1 ตัวอย่างการทำสารละลายมาตรฐานเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.3-4.0 mg/L

ค่าความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเมทิลีนบลู (mg/L)	ค่า Absorbance 668 nm			เฉลี่ย
	1	2	3	
0.3	0.060	0.062	0.061	0.061
0.4	0.080	0.081	0.083	0.081
1.0	0.186	0.187	0.189	0.187
2.0	0.389	0.386	0.387	0.387
4.0	0.754	0.757	0.755	0.755

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลู
มาตรฐานและการดูดกลืนแสงที่ 668 nm

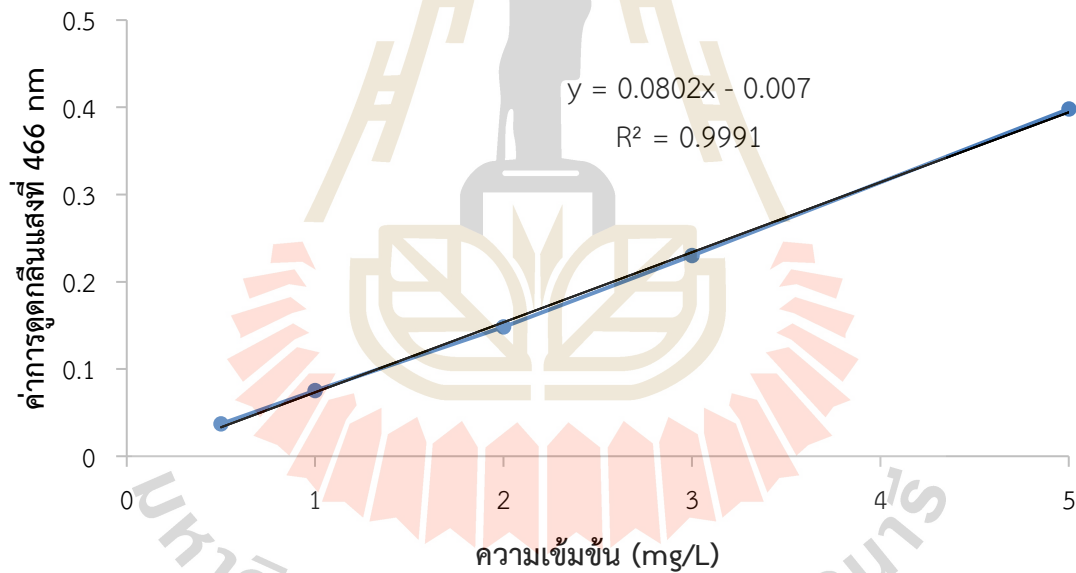


รูปที่ ข-1 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานเมทิลีนบลู (UV-Vis spectrophotometer)

ตารางที่ ข-2 ตัวอย่างการทำสารละลายมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ความเข้มข้น 0.5-5.0 mg/L

ค่าความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานเมทิลออเรนจ์ (mg/L)	ค่า Absorbance 466 nm			เฉลี่ย
	1	2	3	
0.5	0.371	0.370	0.370	0.370
1.0	0.076	0.075	0.074	0.075
2.0	0.147	0.148	0.148	0.148
3.0	0.231	0.232	0.230	0.231
5.0	0.399	0.398	0.398	0.398

กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเข้มข้นของสารละลายเมทิลออเรนจ์มาตรฐาน
และการดูดกลืนแสงที่ 466 nm



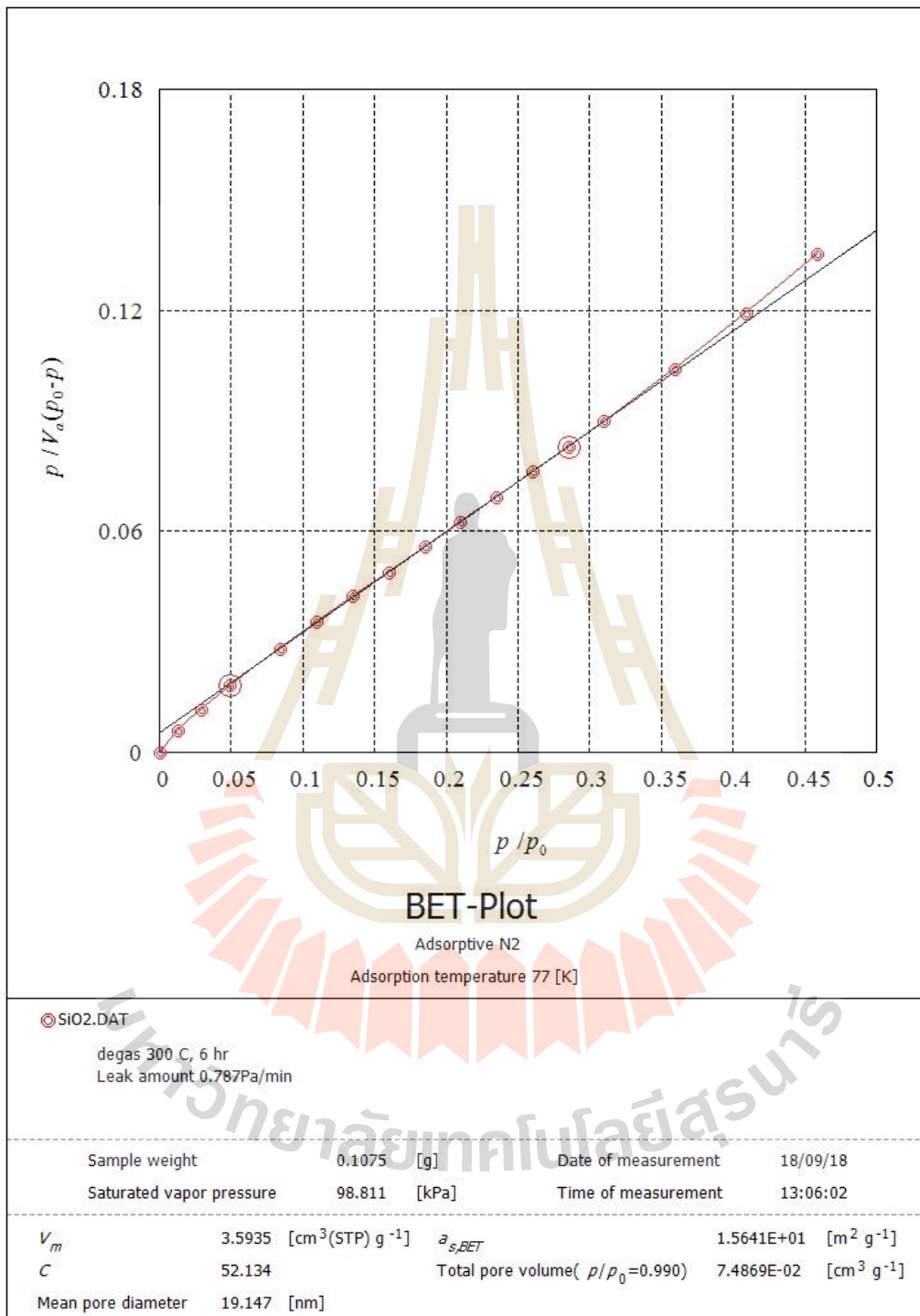
รูปที่ ข-2 ตัวอย่างกราฟมาตรฐานเมทิลออเรนจ์ (UV-Vis spectrophotometer)



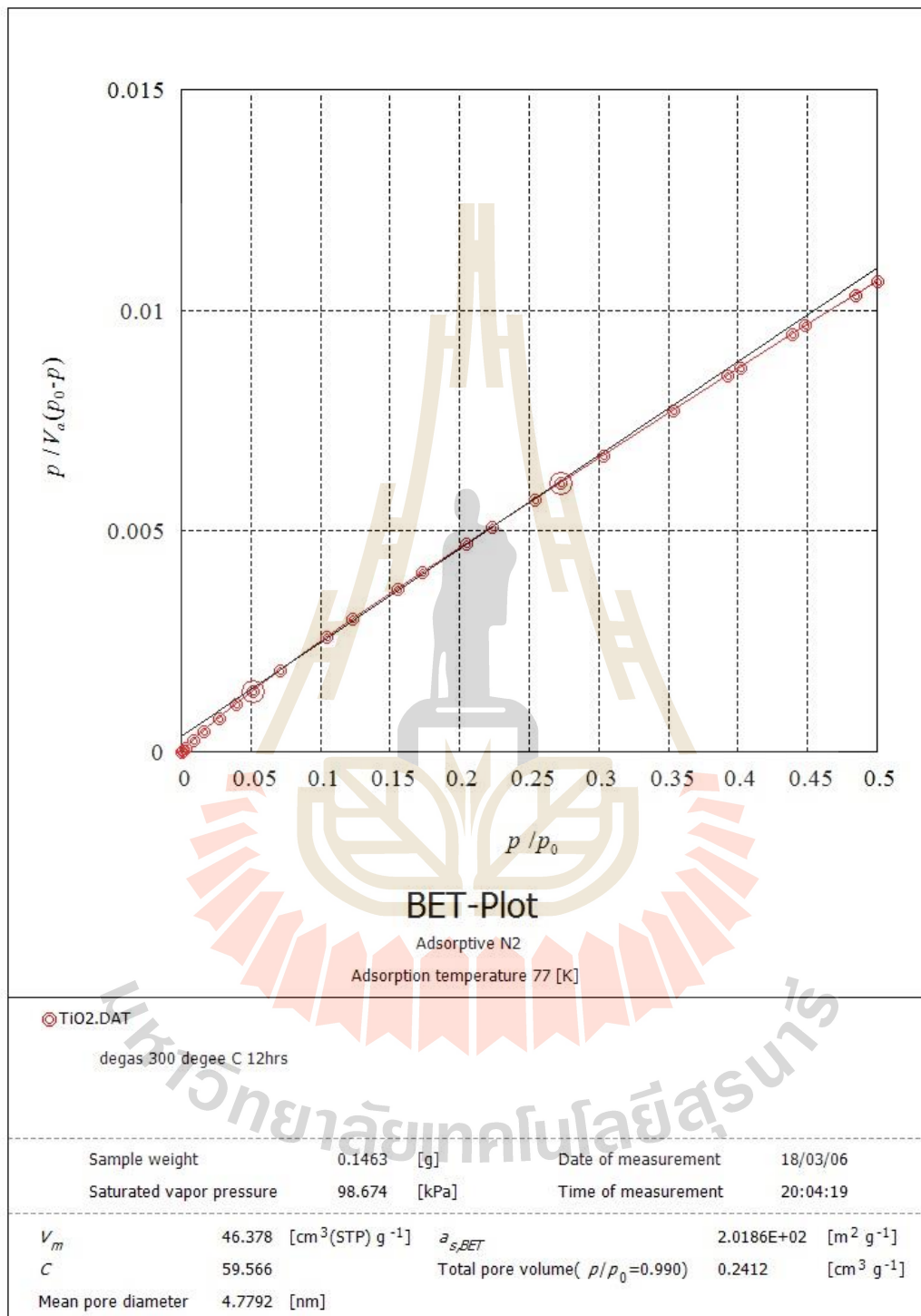
ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET และ t-plot

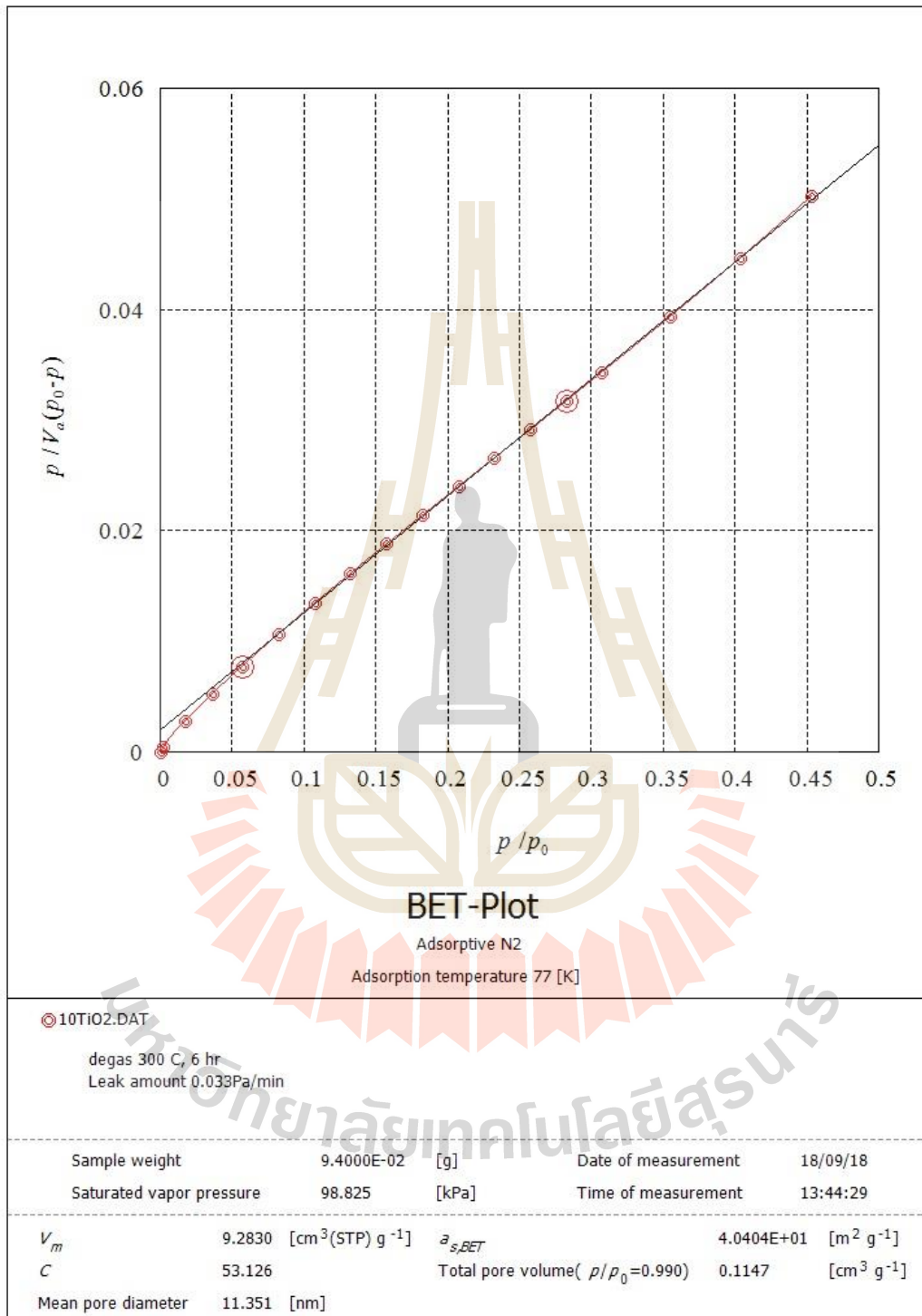
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



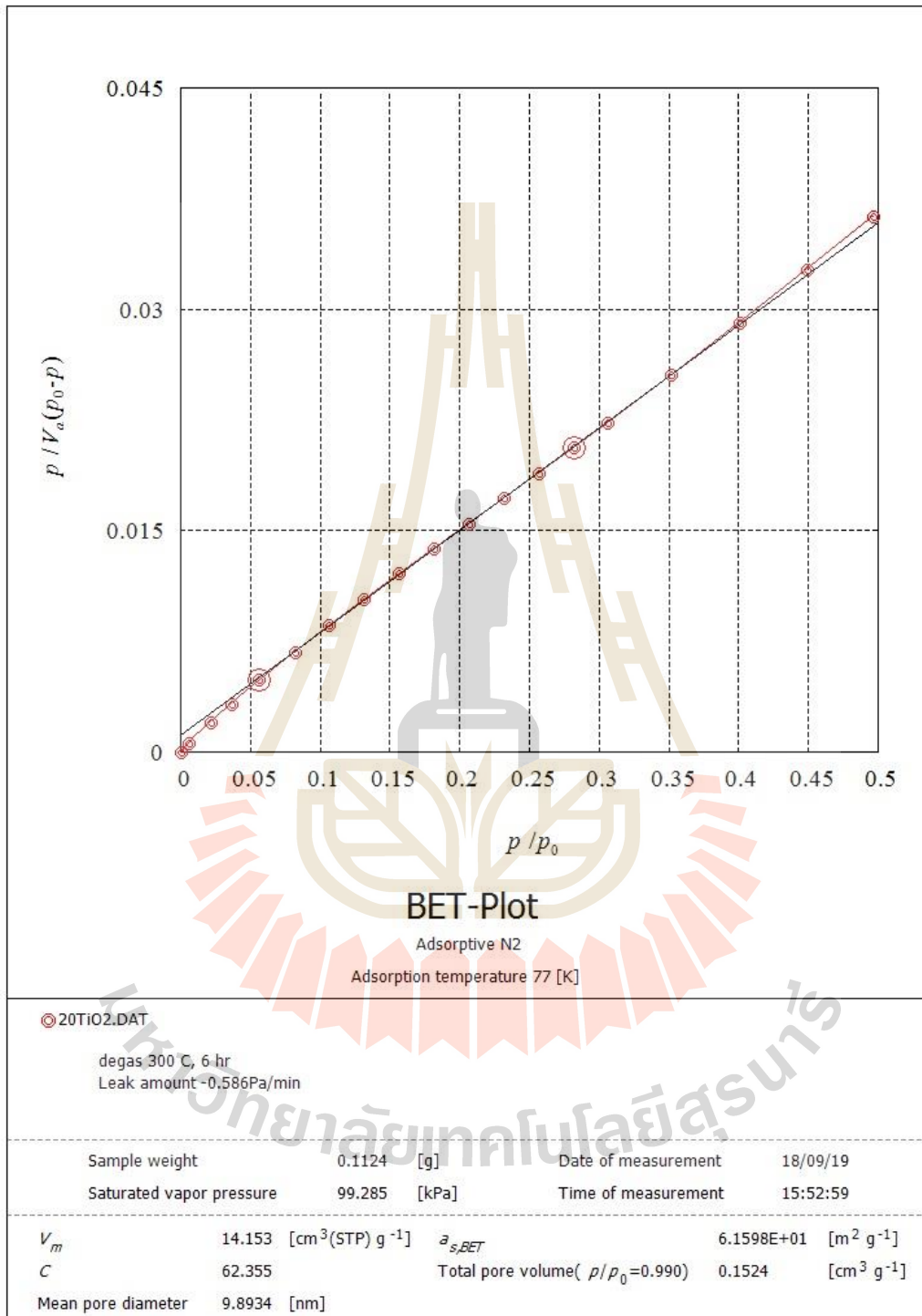
รูปที่ ค-1 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของซิลิกาจากขานอ้อยด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET



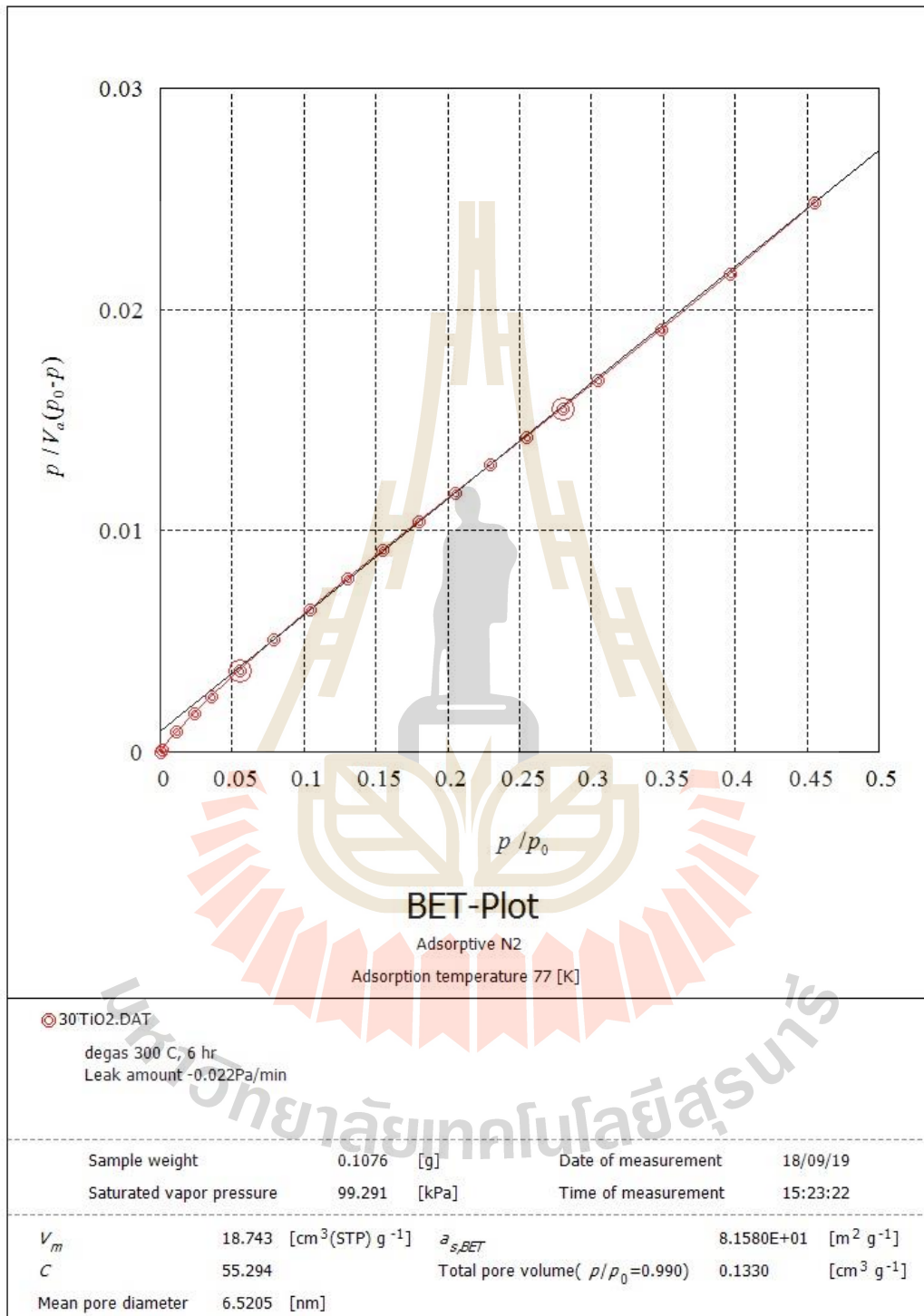
รูปที่ ค-2 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET



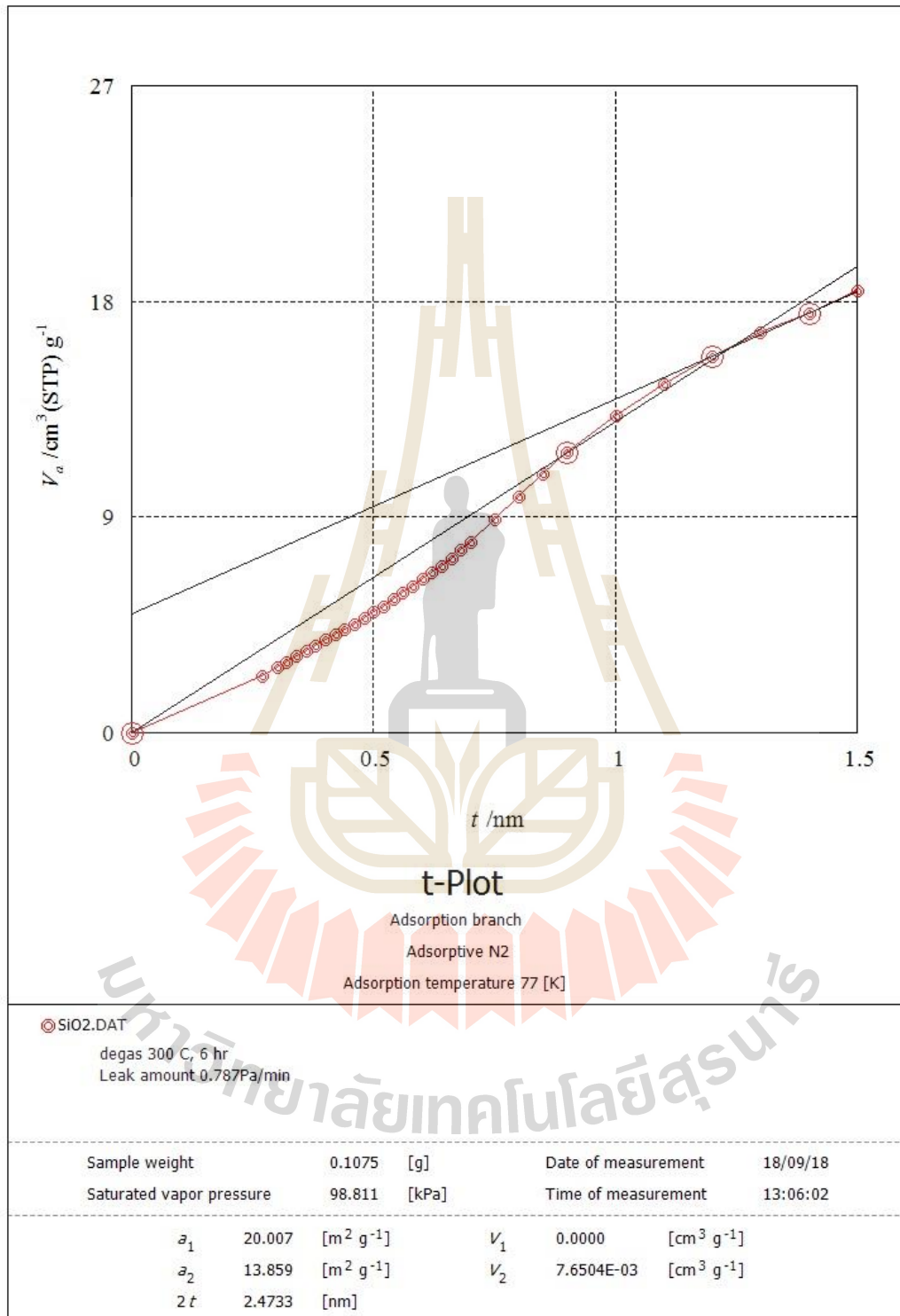
รูปที่ ค-3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 10TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET



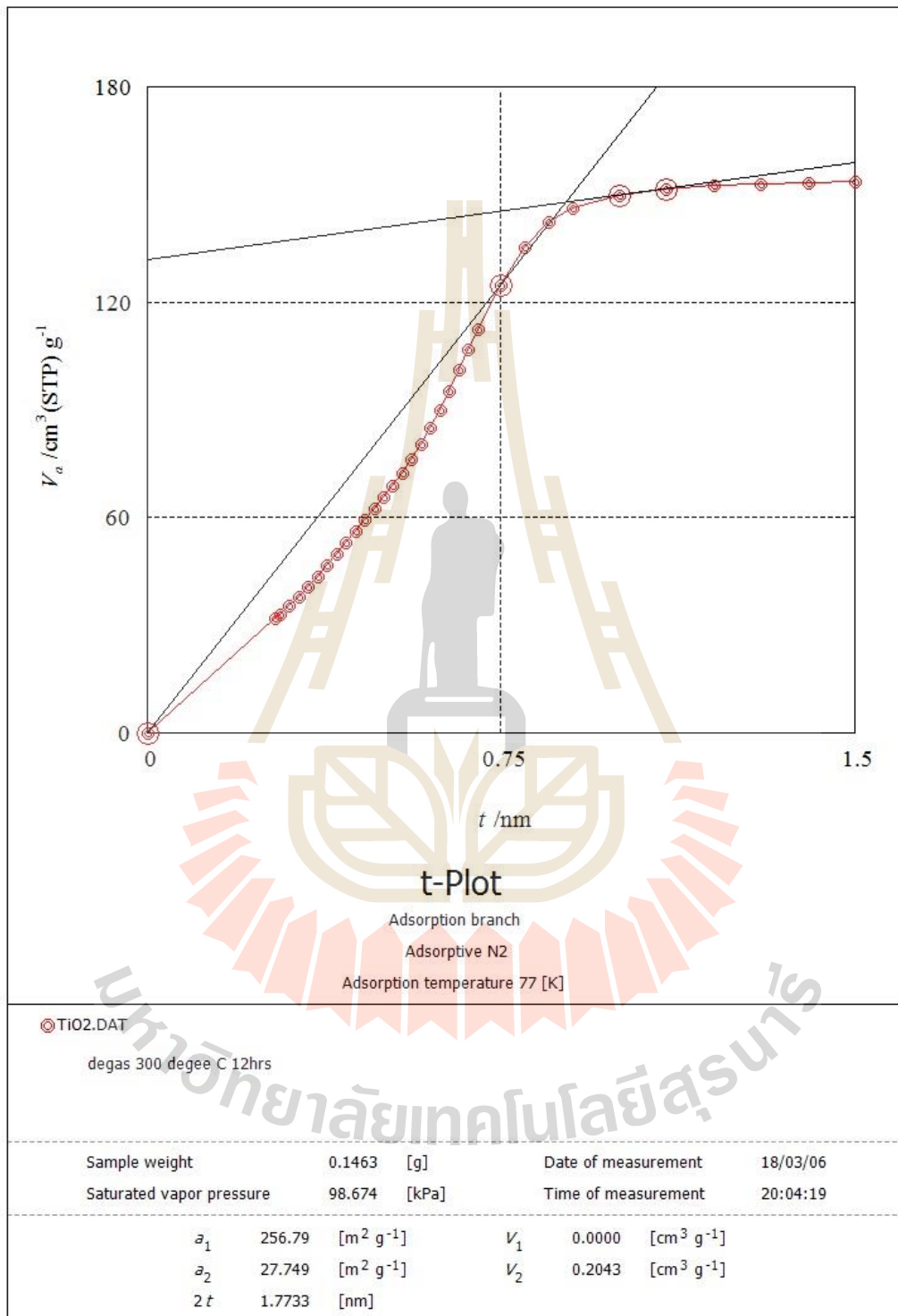
รูปที่ ค-4 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 20TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET



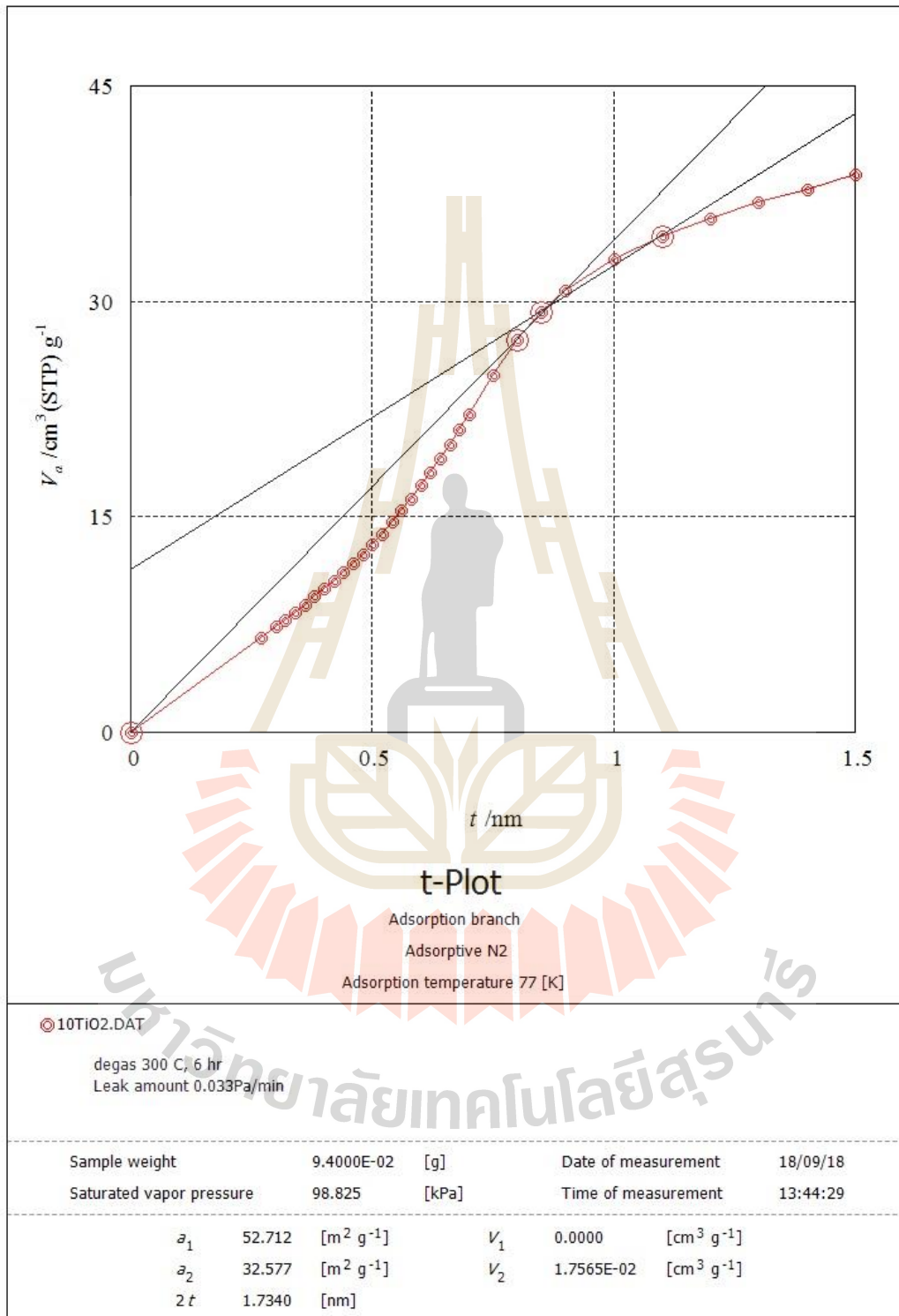
รูปที่ ค-5 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 30TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี BET



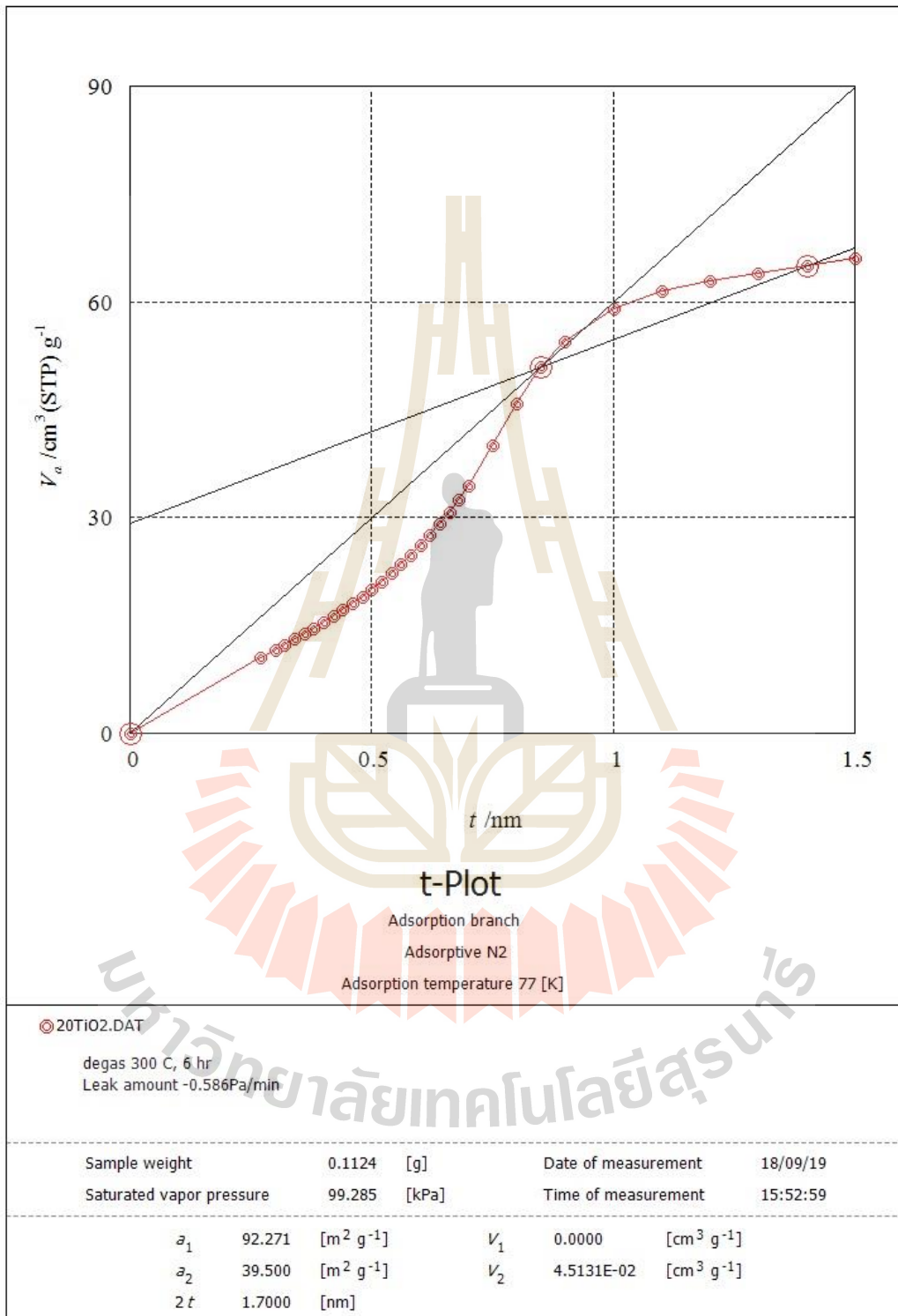
รูปที่ ค-6 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของซิลิกาจากขานอ้อยด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot



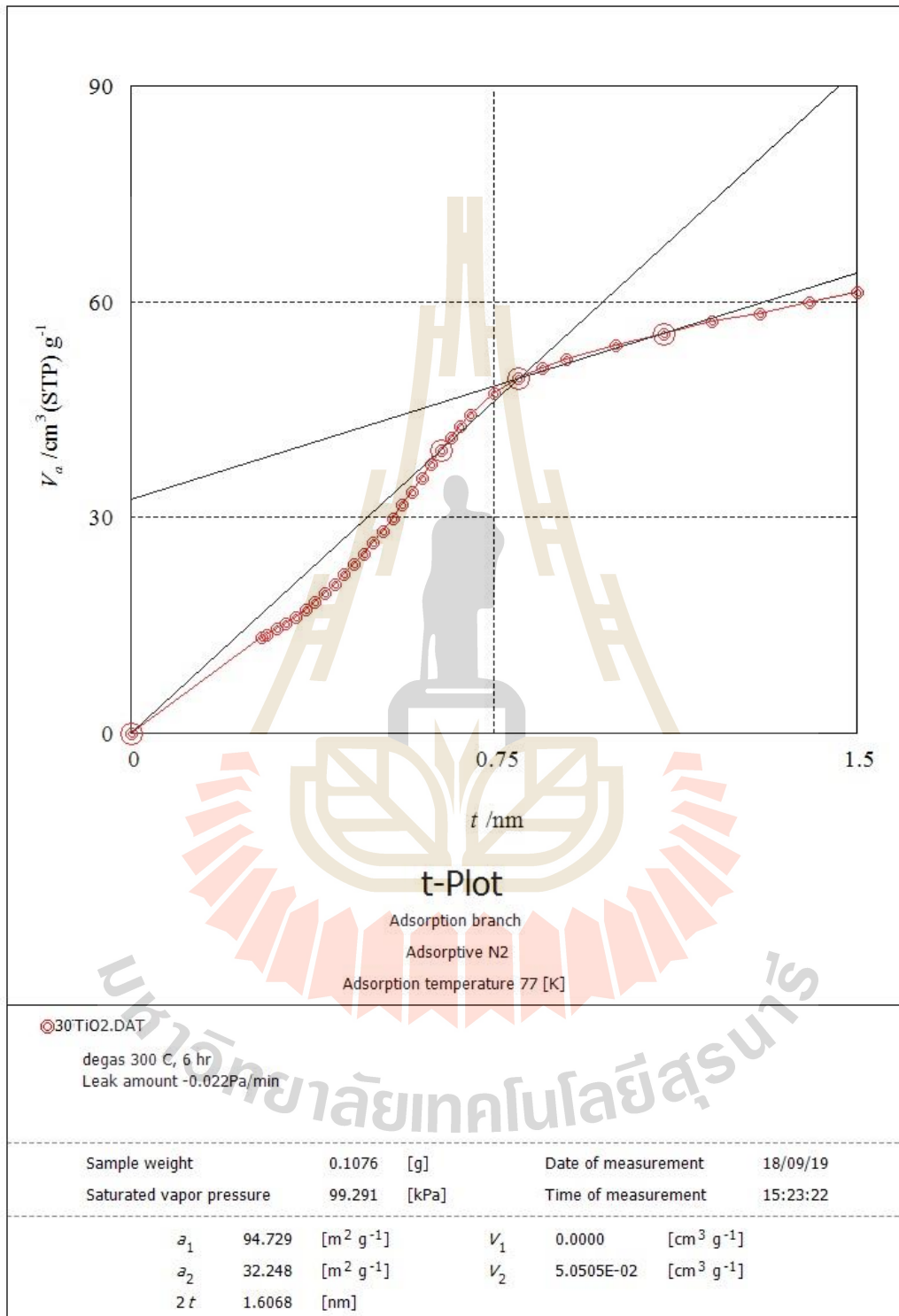
รูปที่ ค-7 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot



รูปที่ ค-8 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 10TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot



รูปที่ ค-9 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 20TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot



รูปที่ ค-10 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ 30TiO₂/BGS ด้วยการดูดซับก๊าซไนโตรเจน ตามวิธี t-plot

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาววิณา รongจะโปะ
(ภาษาอังกฤษ) Miss Wina Rongchapo
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม
3. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้
สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
หมายเลขโทรศัพท์ 044-223857 โทรสาร 044-223920 E-mail: winar@sut.ac.th

4. ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2558 ปริญญาเอก วท.ด. (เคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พ.ศ. 2551 ปริญญาตรี วท.บ. (อนามัยสิ่งแวดล้อม, เกียรตินิยมอันดับ 1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การเตรียมวัสดุที่มีรูพรุนจากวัสดุทางวัสดุเหลือใช้ และ/หรือวัสดุจากธรรมชาติ การพิสูจน์เอกลักษณ์วัสดุด้วยเทคนิคทางเคมี และการนำไปใช้ในการกำจัดสารมลพิษด้วยการดูดซับและการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

6.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว :

- 6.1.1 เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงไทเทเนียมไดออกไซด์ด้วย ซิลิกาจากขานอ้อยในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (ประจำปี 2560)

- 6.1.2 เรื่อง การเตรียมฟิล์มรับรู้เคมีเชิงแสงด้วยการตรึงสีย้อมสำหรับการตรวจวัดปริมาณนิกเกิลในน้ำเสียจากกระบวนการชุบโลหะ (หัวหน้าโครงการวิจัย)

แหล่งทุน : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (ประจำปี 2561)

- 6.1.3 เรื่อง การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในบริเวณพื้นที่ปกปักทรัพยากร อพ.สธ. เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี (หัวหน้าโครงการวิจัย)

แหล่งทุน : สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (ประจำปี 2562)

6.2 ผลงานตีพิมพ์ :

- 6.2.1 Keawkumay, C., **Rongchapo, W.**, Sosa, N., Suthirakun, S., Koleva, I. Z., Aleksandrov, H. A., Vayssilov, G. N., Wittayakun, J. (2019) Paraquat adsorption on NaY zeolite at various Si/Al ratios: A combined experimental and computational study, Materials Chemistry and Physics. 238, 121824.

- 6.2.2 Bunmai, K., Osakoo, N., Deekamwong, K., **Rongchapo, W.**, Keawkumay, C., Chanlek, N., Prayoonpokarach, S., Wittayakun, J. (2018) Extraction of silica from cogon grass and utilization for synthesis of zeolite NaY by conventional and microwave-assisted hydrothermal methods, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 83, 152-158.
- 6.2.3 **Rongchapo, W.**, Keawkumay, C., Osakoo, N., Deekamwong, K., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. (2018) Comprehension of paraquat adsorption on faujasite zeolite NaY and NaX, *Adsorption Science and Technology*, 36(1-2), 684-693.
- 6.2.4 Keawkumay, C., Rakmae, S., **Rongchapo, W.**, Suppakarn, N., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. (2017). Adsorption of paraquat and pirimiphos-methyl by montmorillonite modified with tetradecylammonium chloride and intragallery templating method, *Adsorption Science and Technology*, 35(3-4), 357-371.
- 6.2.5 Osakoo, N., Pansakdanon, C., Sosa, N., Deekamwong, K., Keawkumay, C., **Rongchapo, W.**, Chanlek, N., Jicharoen, J. (2017). Characterization and comprehension of zeolite NaY/mesoporous SBA-15 composite as adsorbent for paraquat, *Materials Chemistry and Physics*. 193, 470-476.
- 6.2.6 **Rongchapo, W.**, Khamdahsag, P., Grisdanurak, N., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. (2016) Photocatalytic degradation of paraquat by using titanium dioxide on rice husk silica and zeolite Y in sodium form. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 23(3), 343-350.
- 6.2.7 **Rongchapo, W.**, Deekamwong, K., Loiha, S., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. (2015). Paraquat adsorption on NaX and Al-MCM-41. *Water Science and Technology*, 71, 1347-1353.
- 6.2.8 สุदारัตน์ สมบัติศรี ชัยยศ จันทร์แก้ว ปกิต กำบุญมา และ **วีณา รongจะโปะ** “การดูดซับทางชีวภาพทองแดง(II) ด้วยไฟโบรอินจากรังไหมเหลือทิ้ง” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปีที่ 17ฉบับที่ 1มกราคม-เมษายน ปี 2558 หน้า 50-58.
- 6.2.9 สุदारัตน์ สมบัติศรี พนิดา ธงกิ่ง ปวีณัฐ นามสำลี ณิชฐ์คณิน ศุภเมธานนท์ และ **วีณา รongจะโปะ** “การดูดซับไอออนตะกั่วด้วยกากมันสำปะหลังดัดแปลง” วารสารนเรศวรพะเยา ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 กันยายน-ธันวาคม ปี 2558 หน้า 167-170.
- 6.2.10 **Rongchapo, W.**, Sophiphun, O., Rinramee, K., Prayoonpokarach, S., and Wittayakun, J. (2013). Paraquat adsorption on porous materials synthesized from rice husk silica. *Water Science and Technology*, 68, 863-869.

ประวัติที่ปรึกษาโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ศาสตราจารย์ ดร.จตุพร วิทยาคุณ
(ภาษาอังกฤษ) Prof. Dr. Jatuporn Wittayakun
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน -
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี และหัวหน้าสาขาวิชาเคมี
4. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้

สาขาวิชาเคมี สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
หมายเลขโทรศัพท์ 044-224193, 4256 โทรสาร 044-224185
E-mail: jatuporn@sut.ac.th, jatuporn@g.sut.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2543 Ph. D. (Chemistry) University of Wisconsin-Madison, Wisconsin, USA
พ.ศ. 2538 M. S. (Chemistry) Colorado School of Mines, Colorado, USA
พ.ศ. 2534 B. Sc. (Chemistry) Khon Kaen University, Thailand

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

การเร่งปฏิกิริยารีดอกซ์ (Heterogeneous catalysis), วัสดุที่มีความพรุน (porous materials), การดูดซับ (adsorption), เคมีสิ่งแวดล้อม (Environmental Chemistry)

ประสบการณ์ทำงาน

- 2558-ปัจจุบัน ศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2555-ปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2548-2558 รองศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2545-2548 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
2545-2546 นักวิจัยหลังจบปริญญาเอก Vienna University of Technology, Austria
2543-2545 อาจารย์ประจำสาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

ผลงานตีพิมพ์ งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้วล่าสุด (2557-2560):

- Wong, S.-F., Deekomwong, K., **Wittayakun, J.**, Ling, T.C., Muraza, O., Adam, F., Ng, E.-P.
(2017) Crystal growth study of K-F nanozeolite and its catalytic behavior in Aldol condensation of benzaldehyde and heptanal enhanced by microwave heating Materials Chemistry and Physics, 196, pp. 295-301.
- Keawkumay,C., Rakmae, S., Rongchapo, W., Suppakarn, N., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2017) Adsorption of paraquat and pirimiphos-methyl by montmorillonite modified with tetradecylammonium chloride and intragallery templating method, Adsorption Science and Technology, 2017, Vol. 35(3-4) 357-371.

- Osakoo, N., Pansakdanon, C., Sosa, N., Deekamwong, K., Keawkumay, C., Rongchapo, W., Chanlek, N., Jitcharoen, J., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2017) Characterization and comprehension of zeolite NaY/mesoporous SBA-15 composite as adsorbent for paraquat, *Materials Chemistry and Physics*, 193, pp. 470-476.
- Kosri, C., Deekamwong, K., Sophiphun, O., Osakoo, N., Chanlek, N., Föttinger, K., **Wittayakun, J.** (2017) Comparison of Fe/HBEA catalysts from incipient wetness impregnation with various loading on phenol hydroxylation, *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, pp. 1-11.
- Deekamwong, K., **Wittayakun, J.** (2017) Template removal by ion-exchange extraction from siliceous MCM-41 synthesized by microwave-assisted hydrothermal method, *Microporous and Mesoporous Materials*, 239, pp. 54-59.
- Manadee, S., Sophiphun, O., Osakoo, N., Supamathanon, N., Kidkhunthod, P., Chanlek, N., **Wittayakun, J.**, Prayoonpokarach, S. (2017) Identification of potassium phase in catalysts supported on zeolite NaX and performance in transesterification of Jatropha seed oil, *Fuel Processing Technology*, 156, pp. 62-67.
- Rongchapo, W., Khamdahsag, P., Grisdanurak, N., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2016) Photocatalytic degradation of paraquat by using titanium dioxide on rice husk silica and zeolite Y in sodium form, *Suranaree Journal of Science and Technology*, 23(3), 343-350.
- Pantupo, W., Deekamwong, K., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.**, Loiha, S. (2016) Effects of iron species on catalytic performance of phenol hydroxylation of Fe-MCM-41, *KKU Science Journal* 44(1), 175-188.
- Wolfbeisser, A., Sophiphun, O., Bernardic, J., **Wittayakun, J.**, Föttinger, K., Rupprechter, G. (2016) Methane dry reforming over ceria-zirconia supported Ni catalysts, *Catalysis Today*, 277, 234-245.
- Rakmae, S., Keawkumay, C., Osakoo, N., Montalbo, K.D., de Leon, R.L., Kidkhunthod, P., Chanlek, N., Roessner, F., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2016) Realization of active species in potassium catalysts on zeolite NaY prepared by ultrasound-assisted impregnation with acetate buffer and improved performance in transesterification of palm oil, *Fuel*, 184, pp. 512-517.
- Sophiphun, O., Demir, D., Föttinger, K., Rupprechter, G., Loiha, S., Neramittagapong, A., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2016) Decrement of coke from phenol hydroxylation on iron on zeolite beta by employing dealuminated support, *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 117 (2), 705-713.

- Samphao, A., Kunpatee, K., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.**, Švorc, L., Stankovic, D.M., Zagar, K., Ceh, M., Kalcher, K. (2015) An Ethanol Biosensor Based on Simple Immobilization of Alcohol Dehydrogenase on Fe₃O₄@Au Nanoparticles, *Electroanalysis*, 27 (12), 2829-2837.
- Sophiphun, O., Föttinger, K., Loiha, S., Neramittagapong, A., Prayoonpokarach, S., Rupprechter, G., **Wittayakun, J.** (2015) Properties and catalytic performance in phenol hydroxylation of iron on zeolite beta prepared by different methods, *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, 116 (2), 549-561.
- Osakoo, N., Henkel, R., Loiha, S., Roessner, F., **Wittayakun, J.** (2015). Comparison of PdCo/SBA-15 prepared by co-impregnation and sequential impregnation for Fischer-Tropsch synthesis. *Catalysis Communications*, 66, art. no. 4267, 73-78.
- Kulawong, S., Prayoonpokarach, S., Roessner, F., **Wittayakun, J.** (2015) Acidity of modified mordenites synthesized from rice husk silica and catalytic transformation of methylbutynol, *Quimica Nova*, 38 (2), 191-195.
- Rongchapo, W., Deekamwong, K., Loiha, S., Prayoonpokarach, S., **Wittayakun, J.** (2015) Paraquat adsorption on NaX and Al-MCM-41, *Water Science and Technology*, 71 (9), 1347-1353.
- Rakmae, S. and **Wittayakun, J.** (2015) The effect of gel volume in autoclave on the Synthesis of mordenite from rice husk silica by Hydrothermal method, *Suranaree J. Sci. Technol.* 22(1):83-91
- Osakoo, N., Henkel, R., Loiha, S., Roessner, F., **Wittayakun, J.** (2014) Effect of support morphology and Pd promoter on Co/SBA-15 for Fischer-Tropsch Synthesis, *Catalysis Communications*, 56, 168-173.
- Phatai, P., **Wittayakun, J.**, Chen, W.-H., Futralan, C.M., Grisdanurak, N., Kan, C.-C. (2014) Removal of manganese(II) and iron(II) from synthetic groundwater using potassium permanganate, *Desalination and Water Treatment*, 52 (31-33), 5942