

ที่ ศธ...57539000/1240/2559.....
วันที่...29 กันยายน 2559.....

แบบ ว-1ด

แบบเสนอโครงการวิจัย (research project)

ประกอบการเสนอของงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การบำบัดเบนซีนในอากาศด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นแผ่นฟิล์มผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2
(ภาษาอังกฤษ) Treatment of Benzene by Photo Catalytic Oxidation Process Using TiO_2 /Polyisoprene Film

ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย) (กรณีเป็นโครงการวิจัยภายใต้แผนงานวิจัย)
(ภาษาอังกฤษ)

ส่วน ก : ลักษณะโครงการวิจัย

- โครงการวิจัยใหม่
- โครงการวิจัยต่อเนื่องระยะเวลา.....ปี ปีนี้เป็นปีที่..... รหัสโครงการวิจัย.....
- I ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ **
- II ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ**
- III ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติรายประเด็น*
- ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 3 : การอนุรักษ์ เสริมสร้าง และพัฒนาทุนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- IV ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับยุทธศาสตร์ประเทศ
- ยุทธศาสตร์ที่ 3 : การเติบโตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- V ระบุความสอดคล้องของโครงการวิจัยกับนโยบาย/เป้าหมายของรัฐบาล
- การพัฒนาและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา และนวัตกรรม

*สามารถดูรายละเอียดได้จากเว็บไซต์ <http://www.nrms.go.th>

**รอรายละเอียดจาก วช.

ส่วน ข : องค์ประกอบในการจัดทำโครงการวิจัย

1. ผู้รับผิดชอบ [คณะผู้วิจัย บทบาทของนักวิจัยแต่ละคนในการทำวิจัย สัดส่วนที่ทำ การวิจัย (%) และ เวลาที่ใช้ทำวิจัย (ชั่วโมง : สัปดาห์)] และหน่วยงาน ประกอบด้วย หน่วยงานหลักและหน่วยงานสนับสนุน

1.1 ผู้รับผิดชอบ

- หัวหน้าโครงการ

ดร.อรรถโส ขำวิจิตร

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำ

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

222 ต. ไทโยบุรี อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80160

โทรศัพท์ 075-673433 โทรสาร 075-673247

E-mail : kattaso@wu.ac.th

รับผิดชอบงานวิจัย ร้อยละ 40

- ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร. วิภาวี ขำวิจิตร

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

222 ต. ไทโยบุรี อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80160

โทรศัพท์ 075-673245 , 0866529005 โทรสาร 075-672399

E-mail : kwipawee@wu.ac.th

รับผิดชอบงานวิจัย ร้อยละ 20

- ผู้ร่วมงานวิจัย

ผศ.ดร.วิภาดา สอนองราชฤทธิ์

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสกลมารค ต.เมืองศรีโค อ. วารินชำราบ

จ. อุบลราชธานี 34190 ประเทศไทย

โทรศัพท์ 045-353360 fax: 045-353-333

Email : wipadadechapanya@yahoo.com

รับผิดชอบงานวิจัย ร้อยละ 20

- ผู้ร่วมงานวิจัย

ดร. โกวิท สุวรรณหงษ์

ตำแหน่ง รองคณบดี คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

ต.สระลงเรือ อ.ห้วยกระเจา จ.กาญจนบุรี 71110

โทรศัพท์ 035-651000

E-mail : kowit007@gmail.com

รับผิดชอบงานวิจัย ร้อยละ 20

1.2 หน่วยงานหลักและหน่วยงานสนับสนุน

- หน่วยงานหลัก

- สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ต. ไทยบุรี อ. ท่าศาลา จ. นครศรีธรรมราช 80160
โทรศัพท์ 075-673245 โทรสาร 075-672399

- หน่วยงานสนับสนุน

- สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ซอยจุฬาลงกรณ์ 12 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์ 02-218-4218 โทรสาร 02-611-7586
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวน
สุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก ดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 02-160-1143 โทรสาร 02-160-1146

2. ประเภทการวิจัย (ผนวก 4)

การวิจัยประยุกต์ (applied research)

3. สาขาวิชาการและกลุ่มวิชาที่ทำการวิจัย (ผนวก 4)

สาขาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

4. คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

โฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน, เบนซีน, ยางธรรมชาติ

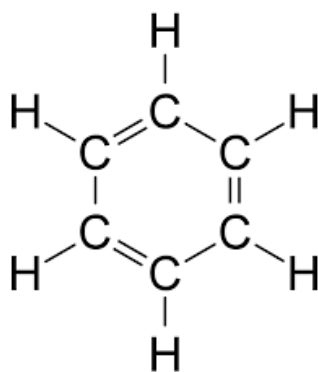
Photo Catalytic Oxidation, Benzene, Poly-isoprene (Natural Rubber)

5. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

โรคมะเร็งเป็นโรคที่เป่นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆของคนทั่วโลก องค์การอนามัยโลกพบว่า ในปี พ.ศ. 2551 มีผู้ป่วยรายใหม่จำนวน 12.7 ล้านคน และมีผู้เสียชีวิตจากโรคมะเร็ง 7.6 ล้านคน คิดเป็น ร้อยละ 13 จากสาเหตุการเสียชีวิตของคนทั่วโลก (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2556) โรคมะเร็งที่พบ 5 อันดับแรกของโลก ได้แก่ มะเร็งปอด มะเร็งเต้านม มะเร็งลำไส้ใหญ่ มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งต

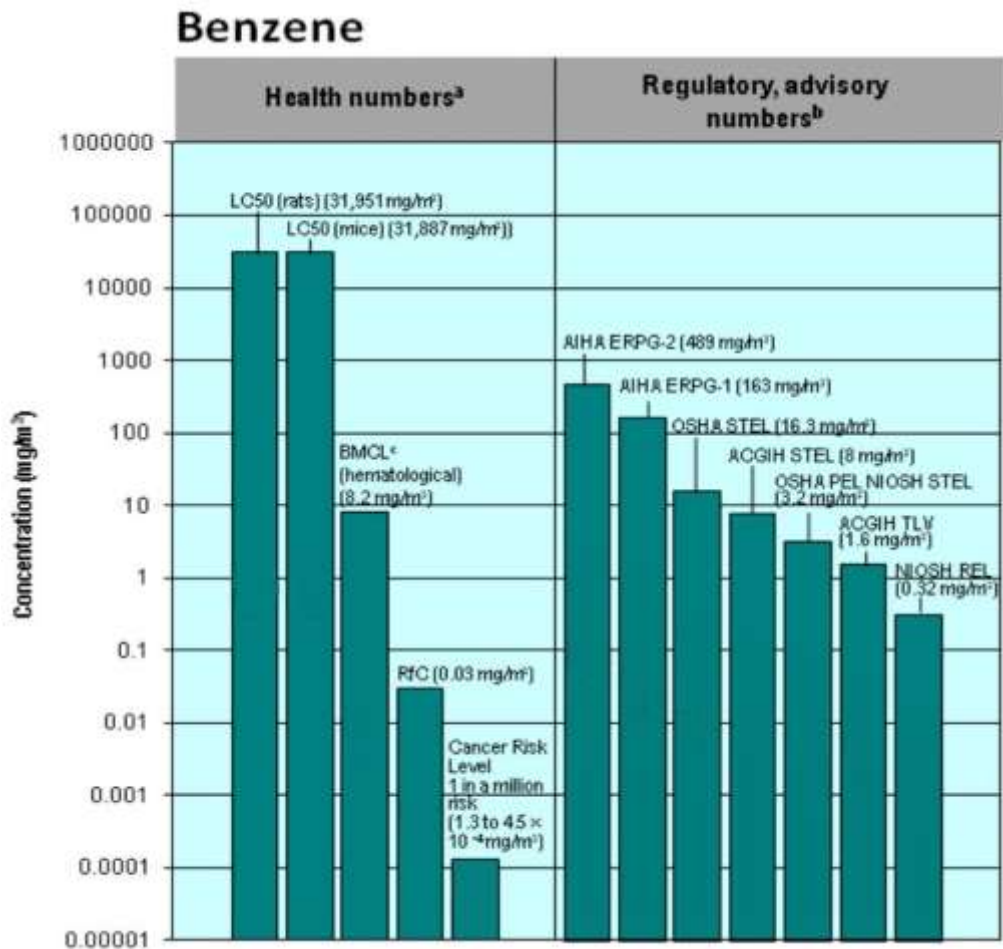
อมลुकหมาก ซึ่งองค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2030 จะมีผู้ป่วยโรคมะเร็งเพิ่มขึ้นเป็น 21.4 ล้านคน (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2556) สาเหตุหลัก 2 ประการที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้แก่ เกิดจากความผิดปกติภายในร่างกาย ซึ่งมีเป็นส่วนน้อย เช่น เด็กที่มีความพิการมาแต่ กำเนิดมีโอกาสเป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาว เป็นต้น และเกิดจากสิ่งแวดล้อมหรือ ภายนอกร่างกาย ได้แก่การได้รับสารปนเปื้อนที่เป็นสารก่อมะเร็ง, การได้รับรังสีซึ่งกระตุ้นการเกิดมะเร็ง, การติดเชื้อไวรัสบางชนิด เช่น ไวรัสตับอักเสบบี เป็นต้น และพฤติกรรมกาสูบบุหรืและดื่มสุรา เป็นต้น การได้รับสารก่อมะเร็งถือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งในปัจจุบัน สารก่อมะเร็งที่ถูกจำแนกอยู่ในกลุ่มซึ่งได้รับการยืนยันชัดเจนว่าสามารถก่อมะเร็งในมนุษย์ได้ (Carcinogenic to humans) ขณะนี้ที่พบมีทั้งหมด 113 ชนิด เช่น แอลกอฮอล์ เบนซีน (Benzene) อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) แร่ใยหิน (Asbestos) และรังสีไอออนไนซ์ (รังสีจากการตรวจโรค รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา) เป็นต้น (สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, 2556)

เบนซีน (Benzene) จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) อันเกิดขึ้นจากกิจกรรมการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่นอุตสาหกรรมเคมี โดยมักถูกใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับอุตสาหกรรม จำพวกพลาสติก ยาง หรือสี เป็นต้น และกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ ตัวอย่างเช่นการจตุรูปเทียน ที่ใช้ในการบูชาพระ หรือสิ่งศักดิ์สิทธิ์ตามความเชื่อ เป็นต้น สูตรทางเคมีของเบนซีนคือ C_6H_6 และมีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 1 เบนซีนไม่มีสี มีคุณสมบัติติดไฟง่าย มีจุดวาบไฟที่ -11 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้ดี การแพร่กระจายของเบนซีนมักเกิดจากกิจกรรมการเผาไหม้ จากถ่านหิน น้ำมัน



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของเบนซีน

เบนซีนส่งผลกระทบต่อร่างกาย ในกรณีที่มีการสัมผัสโดยการสูดดม อาจทำให้มีอาการง่วง วิงเวียนศีรษะ อาเจียน และอาจหมดสติได้ ถ้าได้รับในปริมาณมากอาจทำให้เสียชีวิตได้ หรือหากมีการสัมผัสในระยะยาวก็เป็นสารก่อมะเร็งต่อมนุษย์ ดังสรุปข้อมูลด้านสุขภาพจากการสัมผัสโดยการสูดดมเบนซีนในภาพที่ 2



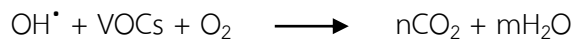
ภาพที่ 2 ข้อมูลแนะนำด้านสุขภาพจากการสัมผัสโดยการสูดดมเบนซิน (USEPA., 2012)

นอกจากจะเป็นสารก่อมะเร็งที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์แล้วนั้น Benzene ยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านน้ำ อากาศ และกากของเสียอันตรายอีกด้วย จากงานวิจัยของสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ ระบุว่า สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายที่พบในควันรถจากการเผาไหม้นั้น มีองค์ประกอบหลักที่เป็นสารก่อมะเร็ง 3 ชนิด ได้แก่ เบนซิน (Benzene), 1, 3-บิวเตไดอิน (1, 3-Butadiene) และ PAHs (polycyclic aromatic hydrocarbons) ซึ่งพบเบนซินในปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับสารก่อมะเร็งทั้งหมดที่ทำการศึกษา (Panida et al., 2008) ดังนั้นการศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการบำบัดเบนซินในอากาศ โดยเทคนิคที่เหมาะสมและมีต้นทุนที่คุ้มค่าที่สุด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

เทคนิคที่ใช้ในการบำบัดมลพิษกลุ่มสารอินทรีย์ระเหยง่ายในปัจจุบันมีหลายวิธี ตัวอย่างเช่น การดูดซับ (Adsorption) ด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon), การใช้กระบวนการความร้อนในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Thermal Catalytic Oxidation), และกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (Photo catalytic oxidation) ซึ่งเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีสะอาด ผลลัพธ์จากปฏิกิริยาก็ได้สารที่ไม่มีความเป็นพิษ ตัวอย่างเช่น น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่ต่ำ และสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง

กระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (Photo catalytic Oxidation) เป็นกระบวนการทางเคมีที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้สารกึ่งตัวนำไฟฟ้า (Semiconductor) เช่น TiO₂ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้

จากนั้นจะถูกกระตุ้นด้วยแสง โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้เกิดสารอนุมูล (hydroxyl radical (OH⁻) ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์อย่างแรงซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาสุดท้ายแล้วจะได้คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O)



อย่างไรก็ดี TiO₂ เมื่อทำปฏิกิริยาโดยตรงกับมลพิษที่ต้องการกำจัดแล้วก็ยังสามารถที่จะทำปฏิกิริยาต่อได้ แต่หากไม่มีวิธีการที่เหมาะสมในการตรึงอนุภาคของ TiO₂ ไว้ก็จะทำให้ต้นทุนในการบำบัดมีค่าสูง เนื่องจากอนุภาคของ TiO₂ จะหลุดออกไปกับสารมลพิษที่ต้องการบำบัด ในปัจจุบันมีการใช้ TiO₂ ร่วมกับสารตัวกลางหลากหลายชนิดที่ใช้ในการยึดเกาะ เพื่อให้ยังคงสามารถใช้ประโยชน์จาก TiO₂ ได้ ตัวอย่างเช่น Low Density Poly Ethylene (LDPE), High Density Poly Ethylene (HDPE) หรือสารธรรมชาติ เช่น เส้นใยไหม เป็นต้น โดยอาศัยเทคนิคต่างๆ ตัวอย่างเช่น Dip Coating, Sol Gel และ Electro Spinning เป็นต้น

ยางธรรมชาติ (Polyisoprene) จัดเป็นโพลีเมอร์ธรรมชาติ ที่ได้จากต้นยางพารา (Hevea brasiliensis) เป็นสารโพลีเมอร์ที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ปัจจุบันมีการนำยางธรรมชาติมาเข้าสู่กระบวนการผลิต และนำไปสู่การใช้ประโยชน์เป็นผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ เช่น ยางล้อรถยนต์, ที่นอนยาง และรองเท้า เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยและนำยางธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ เช่น การผลิตสารเคลือบผิว และโฟมยาง เป็นต้น (วยากรณ์ และคณะ, 2555) และการนำยางพาราผสม TiO₂ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ซึ่งพบว่ายางธรรมชาติ (Polyisoprene) มีความสามารถในการตรึง TiO₂ ได้ และมีให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียในระดับที่น่าพึงพอใจ นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sriwong et al., 2012) จึงมีความเป็นไปได้ในการนำยางธรรมชาติมาใช้ตรึง TiO₂ เพื่อใช้ในงานด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศ ซึ่งนอกจากจะเป็นการใช้ประโยชน์จากสารโพลีเมอร์ธรรมชาติในงานบำบัดมลพิษทางอากาศแล้วก็ยังสามารถต่อยอดไปสู่การสร้างผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ต้นทุนต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในงานบำบัดมลพิษทางอากาศ ซึ่งผลิตจากยางธรรมชาติ ส่งเสริมให้เกิดการนำยางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้กระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิไดส์โดยใช้แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂ สำหรับบำบัดเบนซีนในอากาศ โดยเน้นศึกษาปัจจัยหลัก ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ

6. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 6.1 เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นฟิล์มผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂/Polyisoprene เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการบำบัดเบนซีนในอากาศ
- 6.2 เพื่อศึกษาโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่สังเคราะห์ได้
- 6.3 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการการบำบัด Benzene โดยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน

7. ขอบเขตของโครงการวิจัย

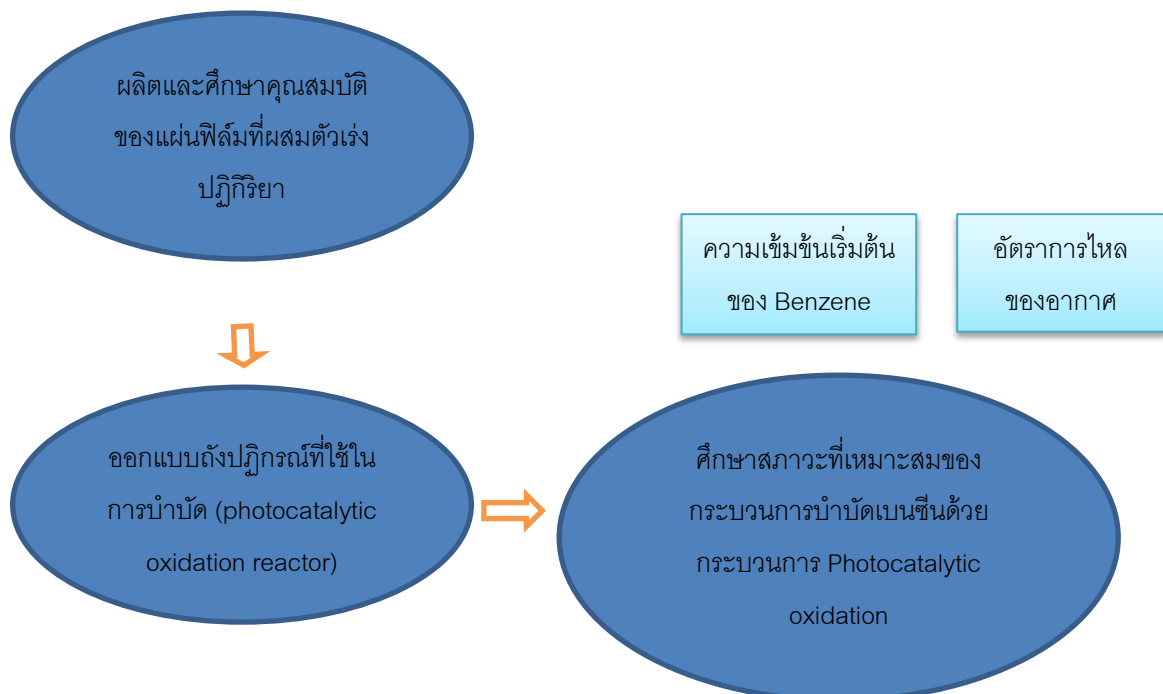
- 7.1 ทำการทดลองการบำบัดเบนซีนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันโดยใช้ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 7.2 ผลิตแผ่นฟิล์มตรึงตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 โดยใช้ยางธรรมชาติ (Poly-isoprene)
- 7.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนที่เกิดจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้น (Initial Concentration) และอัตราการไหล (Flow Rate)

8. ทฤษฎี สมมติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

8.1 สมมติฐาน

- 8.1.1 สามารถสร้างแผ่นฟิล์มผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 บนยางธรรมชาติ (Poly-isoprene) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 8.1.2 แผ่นฟิล์มผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 /Poly-isoprene สามารถบำบัดเบนซีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8.2 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

เมื่อมีอนุภาคแสง (photons) ตกกระทบ ซึ่งจะส่งผลให้อิเล็กตรอนย้ายตำแหน่งจากแถบวาเลนซ์ (Valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี

TiO₂ เป็นสารที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ในการบำบัดน้ำ อากาศ และก๊าซพิษ เพราะ TiO₂ เป็นสาร photocatalyst ที่มีประสิทธิภาพที่สามารถสลายสารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดเมื่ออยู่ภายใต้แสงอาทิตย์ มีผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพมากมายที่ผลิตขึ้นโดยอาศัยคุณสมบัติของ TiO₂ เช่น เสื้อผ้าที่ทำความสะอาดตัวเองได้ กระเบื้องปราศจากเชื้อโรค และการใช้ TiO₂ เพื่อสลายไนโตรเจนไดออกไซด์จากอากาศให้สามารถถูกชะล้างไปได้ง่าย อีกตัวอย่างหนึ่งของประโยชน์ของ TiO₂ คือใช้สลายฮอร์โมนที่เร่งการสุกของพืชผัก และเก็บรักษาดอกไม้ที่ถูกตัดเก็บไว้ หรือใช้สลายก๊าซพิษต่างๆ เช่น Trichloroethylene จากน้ำ หรือสลายสารพิษจากสาหร่ายสีน้ำตาล

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน

ในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันนี้มีปัจจัยที่สำคัญหลายประการ ได้แก่ คุณสมบัติของสารเร่งปฏิกิริยา ปริมาณความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา ปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษที่ปนเปื้อนระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา และความชื้นที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา

1. ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสง (Dosage of Photo catalyst)

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงที่มีการใช้อย่างแพร่หลายด้วยการที่มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ ราคาไม่แพง ปลอดภัยและเสถียรต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน ในด้านความปลอดภัยนั้นได้รับมาตรฐานจากองค์การอาหารและยา (FDA) อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาเป็นอุณหภูมิห้องสามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ได้ในหลายช่วงของความเข้มข้นของปริมาณมลพิษที่มีการปนเปื้อนนอกจากนี้ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีเพิ่มเติมขั้นตอนไม่ยุ่งยากและซับซ้อนไทเทเนียมไดออกไซด์มี 3 แบบของโครงสร้างผลึกคือ Anatase, Rutile และ Brookite โดยโครงสร้างผลึกที่ใช้สำหรับกระบวนการโฟโตคะตะไลติก มี 2 รูปคือ Anatase และ Rutile ซึ่งในรูปของ TiO₂ ทั้งสองชนิดนี้มีช่วงแถบพลังงาน เท่ากับ 3.20 eV และ 3.02 eV ตามลำดับ ในกระบวนการโฟโตคะตะไลติก TiO₂ ในรูปโครงสร้างของ Anatase จะเหมาะสมกว่า Rutile เนื่องจาก แถบพลังงานของ anatase มีสถานะในการเปลี่ยนตำแหน่งของอิเล็กตรอนได้ดี และมีความคงตัวในการเกิดกลุ่มของโฟตอนระหว่างปฏิกิริยาบนผิวของ TiO₂ ได้ดีกว่าในรูป Rutile ส่วนมาก Degussa P25 เป็น TiO₂ ที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด หาซื้อได้ง่าย โดยมีขนาดของอนุภาค 300 นาโนเมตร พื้นที่ผิว 50 m²/g และการกระจายตัวของโครงสร้างผลึก Anatase และ Rutile คือ 30% ต่อ 30% ซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก โดยทั่วไปแล้ว TiO₂ ถูกเคลือบด้วยเม็ด bead ท่อกลวง (hollow tubes), woven fabric, silica gel และเทคนิค sol - gel, เทคนิคการจุ่ม (dip method) และ Thin film method

ในการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยามีสารกึ่งตัวนำหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันขึ้นอยู่กับช่วงแถบ พลังงานที่เชื่อว่าสามารถกระตุ้นให้เกิด ปฏิกิริยาของโฟโตคะตะไลติ

กออกซิเดชันหรือไม่ เช่น WO_3 มีช่วงแถบพลังงาน $E_g = 2.8 \text{ eV}$, Fe_2O_3 มีช่วงแถบพลังงาน $E_g = 3.1 \text{ eV}$, $Sr TiO_2$ มีช่วงแถบพลังงาน $E_g = 3.2 \text{ eV}$ และ ZnS มีช่วงแถบพลังงาน $E_g = 3.6 \text{ eV}$

นอกจากนี้ยังมีการใส่โลหะหนักบางชนิดลงไปในสารตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่าการ Metal – ion – doped ซึ่งก็สามารถช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยา โฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันได้เร็วขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากโลหะหนักที่ใส่ลงไปนี้ช่วยทำให้กระตุ้น ให้เกิดพลังงานของการเกิดโฟตอนให้ได้ค่าแถบพลังงานที่พอเหมาะในการกระตุ้น ให้เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันได้เร็วขึ้น

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของ อนุภาคนาโนของ TiO_2 และ TiO_2 แบบผง

	แบบอนุภาคนาโน	แบบผง
Appearance	White	White powder
Crystal structure	Anatase หรือ Rutile	Anatase หรือ Rutile
Crystal size (μm)	0.005 – 0.05	0.15 – 0.3
Specific surface area (m^2/g)	50 ถึง >300	15
Bulk density (g/ml)	3.3	4.0
Oil absorption (g/100g)	30	16

ที่มา : Norman และคณะ, 2008

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีขนาดอนุภาคของ TiO_2 เล็กลง ทำให้คุณลักษณะทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น การดูดซับเพิ่มขึ้นจากอนุภาคของ TiO_2 แบบผง

สำหรับกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน นอกจากประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงที่ต้องการทำงานได้ดีแล้ว ยังมีประสิทธิภาพการลดลงของการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาอีกด้วยซึ่งก็เป็นปัญหาที่พบได้ทั่วไปซึ่งได้แก่ การเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา (Deactivation)

- เกิดจากการใช้งานไปนานๆ แล้วมีการสูญเสีย ตำแหน่งเฉพาะเจาะจง (Active site) บนพื้นที่ผิวของตัวเร่งตัวเอง

- เกิดจากการอุดตันของตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเอง ทำให้ขัดขวางตำแหน่งเฉพาะเจาะจงของการเกิดปฏิกิริยา (Obee และ Brawn, 1995) พบว่าความเข้มข้นของสารที่ทำปฏิกิริยามีผลต่ออายุการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสัมพันธ์กันกับการใช้อนุมูลอิสระ (Hydroxyl radical) ดังนั้นกลไกของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันนั้นจะต้องมีการช่วยเกิดปฏิกิริยาได้ดี โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของกลุ่ม Hydroxyl group นอกจากนี้ความหนาแน่นของ Hydroxyl group ตัวเร่งปฏิกิริยาบนพื้นผิวลดลง ก็จะทำให้ปฏิกิริยา ของตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะลดลงไปด้วย

สำหรับการประยุกต์ใช้ TiO_2 สำหรับกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน จำเป็นต้องมีการตรึง TiO_2 โดยให้ยึดติดกับวัสดุรองรับ ซึ่งกระบวนการนี้สำคัญมากเนื่องจากจะมีผลต่อการหลุดลอกของ

สารเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้การกระจายตัวของ TiO_2 ที่ดีมีผลต่อการสัมผัสกับแสงยูวีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี เทคนิคการตรึง TiO_2 บนวัสดุรองรับต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วิธีต่างๆที่ใช้ในการตรึง TiO_2

Immobilization Technique	Substrate coated
Dip Coating	Glass Quartz Pumice stone Optical fibers
Sol gel	Glass
vapour	Red brick Activated carbon
deposition, CVD	alumina Silica gel
Electrophoretic	Stainless steel Ti-4V-6Al Alloy Titanium Foil Tin oxide coated glass Aluminium
Sputtering	Glass Red brick White cement
Composite	Nano LDPE

ที่มา: Jinhan et al 2009, Suwannahong et al 2012

2. ปัจจัยของไอน้ำ (Water vapor)

การที่พื้นผิวของไทเทเนียมไดออกไซด์ที่มีพันธะโมเลกุลของน้ำมาเกาะทั้งแบบพันธะแข็งแรงหรือพันธะอ่อน นั้นเหมือนกับว่ามีกลุ่มของ hydroxyl group เกิดขึ้นโดยการแยกสลายโมเลกุลของน้ำด้วยปฏิกิริยาดูดซับ ปริมาณไอน้ำที่มากเกินไปเกาะบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะนำไปสู่การลดลงของปฏิกิริยาในการย่อยสลายเพราะว่าโมเลกุลของน้ำสามารถเกาะอยู่บนตำแหน่งกระตุ้นบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาแทนที่สารมลพิษที่ควรจะเข้าไปทำปฏิกิริยาแทน

Obee และ Brown, 1995 ได้ศึกษาผลกระทบของความชื้นที่มีผลต่ออัตราการปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Formaldehyde , toluene และ 1,3 butadiene ผลกระทบของความเข้มข้นของไอน้ำที่มีผลต่ออัตราการปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Formaldehyde เหมือนกันกับ toluene เมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มมากขึ้น จากปริมาณต่ำไปถึงปริมาณสูง จะพบว่าอัตราการปฏิกิริยา Formaldehyde จะมีค่าสูงสุด ณ จุดหนึ่งและจะลดลงเมื่อมีความเข้มข้นของปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบช่วงของปริมาณความชื้นจะเห็นว่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ 15 - 60 % หรือ 4,000 - 16,000 ppmv สามารถใช้สมการ Langmuir - Hinshelwood แสดงให้เห็นถึงกลไกปฏิกิริยาออกซิเดชันของฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นอัตราการปฏิกิริยาเป็นแบบอันดับที่หนึ่ง ในกรณีความเข้มข้นของ Formaldehyde ต่ำกว่า 10 ppmv

3. ปัจจัยของความเข้มของแสง (light intensity)

TiO₂ ดูดกลืนแสงตามช่วงความยาวคลื่นที่มากพอจะทำให้พลังงานปล่อยออกมาเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งแถบพลังงาน ระหว่าง Valence band และ Conduction band สำหรับไทเทเนียมไดออกไซด์ ความยาวคลื่นของ UV อยู่ระหว่าง 300 และ 362 นาโนเมตร ความยาวคลื่นช่วงนี้จะทำให้เกิดพลังงานที่ 3.2 ev. ซึ่งเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกของออกซิเดชัน พลังงานนี้ถูกปล่อยโดยโฟตอนมากกว่านั้นโฟตอนนี้ก็จะทำให้ผลผลิตมากขึ้น เมื่อความเข้มแสงกับพลังงานกระตุ้นที่มากพอที่อิเล็กตรอนจะเปลี่ยนระหว่าง Valence band และ conduction bands ไปสู่คู่อิเล็กตรอน-โฮล บนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา การมีคู่อิเล็กตรอน-โฮล จำเป็นต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันบางคู่อิเล็กตรอน-โฮล อาจใช้ในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน ขณะเดียวกันทางคู่อิเล็กตรอน-โฮล ก็อาจจะมีการกลับมารวมตัวกันอีกครั้งหนึ่ง (Recombination) ผลกระทบของความเข้มแสงที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน มีได้หลายต่อหลายมลพิษยกตัวอย่างเช่น Wang et al, 1998 พบว่าอัตราการปฏิกิริยาทาง TCE จากช่วง 0.08×10^{-6} ถึง 0.25×10^{-6} mol/s.g เทียบกับการให้ความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจาก 0.08 mW/cm^2 ถึง 0.45 mW/cm^2 ภายใต้ความชื้น 3,800 ppmv และอัตราความเร็ว 300 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งจะพบว่าอัตราการย่อยสลายลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มของแสงยูวี เมื่อเทียบกับสมการถดถอย ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มแสง มีค่าเท่ากับ 0.61 ซึ่งทาง Wang et al , 1998 จึงสรุปได้ว่าปฏิกิริยาครั้งหนึ่งจะทำให้คู่อิเล็กตรอน-โฮล เกิดการรวมตัวได้ใหม่อีกครั้งจึงไม่เกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติก

4. ปัจจัยของความเข้มข้นเริ่มต้นของมลพิษ (Initial Concentration)

Cao, 1999 ทำการศึกษาพบว่าอัตราการปฏิกิริยาไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ 1 - butane สูงมากกว่า 7 ppmv ส่วนการศึกษาของ Noguchi et al อัตราการปฏิกิริยาจะมีอัตราเพิ่มขึ้น ลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Formaldehyde สูงกว่า 600 ppmv ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับของ

Formaldehyde บนตัวเร่งปฏิกิริยาสูงขึ้น นั้นแสดงให้เห็นจลศาสตร์เคมีของปฏิกิริยาเป็นข้อจำกัดของการถ่ายเทมวลสาร

จลศาสตร์ของกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (Kinetic of Photocatalytic Oxidation)

จลศาสตร์ของกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันเป็นกระบวนการนำข้อมูลมาใช้ในการประเมินสถานะที่เหมาะสมของการออกแบบถังปฏิกรณ์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยานั้นก็ยังมีหลายปัจจัยที่มีอิทธิพล ได้แก่ ความชื้น, ความเข้มแสง, ความเข้มข้นของออกซิเจนในขั้นตอนการออกแบบถังปฏิกรณ์แต่ละปัจจัยที่กล่าวมามีผลต่อประสิทธิภาพของการย่อยสลายสารมลพิษของกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน

1. ถังปฏิกรณ์และแหล่งกำเนิดแสง (Reactor and light sources)

ถังปฏิกรณ์และแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายมลพิษอากาศได้ โดยควรจะมีความสามารถรองรับกับปริมาณของอากาศได้ดี และ pressure drop ต่ำเพื่อจะมีอัตราการย่อยสลายได้ดี และยิ่งไปกว่านี้ถังปฏิกรณ์ควรจะมีการสัมผัสแสง UV กับ ตัวเร่งปฏิกิริยา และแก๊สมลพิษได้ดี ประเภทของถังปฏิกรณ์สำหรับกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน นั้นมีหลายประเภทในที่นี้ จะกล่าวถึงเฉพาะบางประเภทเท่านั้น ได้แก่ Honeycomb monolith, fluided – bed, และ Annular

2. ถังปฏิกรณ์ แบบ honeycomb monolith

ถังปฏิกรณ์ประเภทนี้ลักษณะคล้ายกับรังผึ้งแบ่งเป็นแผงชั้นๆ โดยปกติเหมาะสำหรับใช้งานบำบัดก๊าซพิษจากรถยนต์ และลดการเกิด NOx ของโรงงานผลิตไฟฟ้า ถังปฏิกรณ์แบบ honeycomb monolith นี้มีแบบหลายช่อง และช่องเดียว เมื่อมองภาพตัดขวาง ภายในของช่องซึ่งเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมหรือวงกลมจะเป็นที่ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาโดยติดอยู่ที่ผนังของช่องแผง ข้อได้เปรียบของปฏิกิริยาประเภทนี้ คือ pressure drop ต่ำ และมีพื้นที่ผิวตัวเร่งปฏิกิริยากับปริมาตรโดยเป็นสัดส่วน โดยตรง

3. ถังปฏิกรณ์แบบ Fluidized bed reactor

ถังปฏิกรณ์ชนิดนี้ เป็นแบบต้องมีตัวกลางอยู่ภายใน ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการออกแบบถังปฏิกรณ์นี้สามารถใช้งานได้ดีกับอัตราการไหลของก๊าซสูง (Dibble และ Pavpp, 1992) ได้แสดงให้เห็นถึงการนำถังปฏิกรณ์ Fluidized bed มาใช้โดยมีการใส่ TiO₂ บนตัวรองรับ Davisil 646 silica gel และมีการเปลี่ยนรูปเป็น TiO₂ – silica gel พบว่าสามารถนำไปประยุกต์ในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นอย่างดี

4. ถังปฏิกรณ์ Annular

ถังปฏิกรณ์ Annular โดยทั่วไปลักษณะเป็นทรงกระบอกตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเคลือบที่ผนังภายใน และผนังภายนอก จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงโดยกำหนดให้เป็นแหล่งศูนย์กลาง และความหนาของตัวเร่งปฏิกิริยาได้เอง ที่เคลือบบนผิวในผนังของถังปฏิกรณ์ ถ้าบางก็จะช่วยให้แสงส่องผ่านได้ดี ข้อดีของถังปฏิกรณ์นี้ คือสามารถรองรับอัตราการไหลของอากาศได้ดี เพื่อให้แน่ใจว่าตัวเร่งปฏิกิริยาได้ถูกดูดซับเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดี

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ของกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ประกอบด้วยกระบวนการดังนี้ (Shaobin *et al* 2007)

1. การถ่ายเทมวลสารของมลสารไปสู่บนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การดูดซับของมลสารบนพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา
3. ปฏิกิริยาเคมีที่ใช้แสงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิว
4. การคลายตัวของผลิตภัณฑ์จากพื้นที่ผิว (Desorption)
5. การถ่ายเทของมวลสารของผลิตภัณฑ์จากพื้นที่ผิวไปสู่ภายนอกโมเลกุล

ซึ่งแบบจำลองทางจลศาสตร์เป็นการพิจารณาเพื่อนำไปสู่กระบวนการสร้างจำลองแบบทางคณิตศาสตร์

กฎอัตรา

ปฏิกิริยาจลศาสตร์ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาและกลไกที่เกิดขึ้น สำหรับกระบวนการ โฟโตคะตะไลติกโดย กฎอัตราใช้ทำนายอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยา ในทางทฤษฎีสามารถแสดงได้ง่ายๆ เหมือนกับอัตราการลดลงของปฏิกิริยาของมลสารหรืออัตราการเพิ่มขึ้นของผลิตภัณฑ์ ในโมเลกุลเดี่ยว

(Unimolecule) มีการย่อยสลายเป็นปฏิกิริยาดังนี้



$$\text{อัตรา} = -d[A] / dt = d[B] / dt = d[C] / dt \quad (6)$$

ซึ่งก็เป็นอัตราปฏิกิริยาที่ใช้กำลังของกฎอัตรา

$$\text{อัตรา} = -d[A] / dt = k[A]^n \quad (7)$$

ในขณะที่ k คือ อัตราค่าคงที่
 n คือ อันดับของปฏิกิริยา

โดยทั่วไปอันดับของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งและอันดับสองมักเป็นแบบจำลองที่ใช้กันบ่อย

ปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเป็นอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลสารและอัตราคงที่ มีหน่วยเป็น $1/s$ ในรูปทั่วไปคือ

$$\text{อัตรา} = -d[A] / dt = k[A] \quad (8)$$

เมื่อทำการอินทิเกรตจะได้

$$[A] / [A_0] = \exp[-kt] \quad (9)$$

เมื่อ $[A_0]$ คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น

$[A]$ คือ ข้อมูลความเข้มข้นโดยสามารถ Fit สมการเพื่อหารอัตราคงที่

ปฏิกิริยาอันดับสองขึ้นอยู่กับความเข้มข้นมลสารยกกำลังสองและอัตราคงที่ มีหน่วยเป็น $1/(Ms)$ เมื่อ M คือ หน่วยของความเข้มข้น

ขั้นตอนที่สำคัญของปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน คือ การที่โมเลกุลของมลสารมีการดูดซับที่บนพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นกฎอัตราควรจะพิจารณาผลกระทบของ Adsorption isotherm และปฏิกิริยาจลศาสตร์ ตลอดไปจนถึงความแตกต่างของประเภทปฏิกิริยาในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน ในบางกรณีศึกษาที่มีการพัฒนาแบบสมบูร์น หรือสมการทางจลศาสตร์สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยสรุปแล้วอนุพันธ์สมการของอัตราปฏิกิริยาจาก Isotherm หรืออัตราคงที่เป็นส่วนสำคัญของการศึกษาจลศาสตร์เคมี

Nimlos et al, 1996 ได้ทำการวัด adsorption isotherms สำหรับเอทานอล และสารตัวกลางที่เกิดขึ้น (acetaldehyde, formaldehyde and acetic acid) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography)ซึ่งทำให้ได้จำนวนของสารประกอบที่ดูดซับพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อทำการหาลากจุดข้อมูลเพื่อดู Langmuir adsorption isotherm ซึ่งจะได้สมการ ดังนี้

$$r = \frac{\mu_{\text{max}} K_a C}{1 + K_a C} \quad (10)$$

- เมื่อ μ_{max} คือ จำนวนดูดซับต่อกรัมของตัวเร่งปฏิกิริยา
- μ_{max} คือ จำนวนมากที่สุดของตัวดูดซับ
- K_a คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ
- C คือ ความเข้มข้นของมลสารในสภาวะก๊าซ

แบบจำลอง Langmuir – Hinshelwood

เป็นแบบจำลองที่ใช้กันแพร่หลาย เพื่อใช้สร้างสูตรสมการอัตราปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน สำหรับปฏิกิริยาตัวเร่งปฏิกิริยาที่พื้นผิวมีปฏิกิริยา Chemisorption เป็นปฏิกิริยาที่น่าสนใจ Langmuir ได้ทำการพัฒนาครั้งแรกเป็น adsorption isotherm นำไปสู่การดูดซับโมเลกุลเป็นเพียงชั้นเดียวของโมเลกุล ซึ่งทำให้เกิด ความร้อนของการดูดซับจะเป็นเหมือนกันทุกๆโมเลกุลอันซึ่งดูดซับเรียบร้อยแล้ว สามารถกลับไปสู่สภาวะก๊าซได้อีกครั้งใดทันทีทันใด ซึ่งมี Hinshelwood ผู้ซึ่งเริ่มต้นประยุกต์ใช้ Langmuir isotherms โดยใช้กับหลายๆ มลสาร และผลิตภัณฑ์ และแบบจำลองถูกพัฒนาเรียกว่า แบบจำลองจลศาสตร์ Langmuir – Hinshelwood โดยแบบจำลองนี้ใช้ในการทดสอบหา disappearance rate (r) ของมลสาร ดังนี้

$$r = \frac{k K C}{1 + k C} \quad (11)$$

- เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอัตราปฏิกิริยา
- K คือ ค่าคงที่สมดุลการดูดซับ

ในหลักการทั่วไปค่าคงที่การดูดซับ K ในสมการที่ 11 สามารถได้รับการใช้อย่างอิสระจาก dark adsorption isotherms ของตัวเร่งปฏิกิริยา

Hoffmann et al, 1995 ได้ทำการสรุปค่า K ที่ได้รับจากรายงานอย่างมีนัยสำคัญที่มีความแตกต่างจากค่า equivalent constant ซึ่งได้จากข้อมูลจลศาสตร์ ในระบบคะตะไลติกออกซิเดชัน ดังนั้นในการทดลองค่าคงที่ทั้งสองได้จากการวัดจลศาสตร์ซึ่งนำข้อมูลมาสร้างกราฟ ซึ่งเป็นเพียงการย่อยสลายของสารประกอบชนิดเดียวสำหรับการประยุกต์ใช้มลพิษภายในอาคารมันเหมือนกับว่ามีมลสารหลายชนิด

ที่จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน การใช้กฎอัตราเพื่อทำนายปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ระเหยง่ายหลายชนิดเท่านั้นที่ใช้ได้

Turchi et al, 1995 ใช้สมการ Extended Langmuir – Hinshelwood เพื่อนำเสนออัตราปฏิกิริยาขององค์ประกอบ (r_i) ในสารผสมบรรจุใน 3 สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Isopropanol, Methanol, Acetone)

$$r_i = \frac{\phi_i K_i C_i}{1 + K_1 C_1 + K_2 C_2 + K_3 C_3} \quad (12)$$

เมื่อ ϕ_i คือ อัตราค่าคงที่ขององค์ประกอบ i

K_i คือ ค่าคงที่ของการดูดซับขององค์ประกอบ i

C_i คือ ความเข้มข้นขององค์ประกอบ i

ปฏิกิริยาจลศาสตร์มีความสำคัญอย่างมาก ต่อการออกแบบถังปฏิกรณ์โฟโตคะตะไลติก

ตารางที่ 3 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้ในกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันสำหรับบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย

Author	Contaminant	Kinetic from used to describe the photo catalytic oxidation rate	Experimental parameters considered by model
Raupp <i>et al.</i>	VOCs	Langmuir-Hinshelwood-Houghen-Watson	Simultaneous convection-diffusion and radial UV light distribution
Dibble and Raupp	TCE	Langmuir-Hinshelwood-Houghen-Watson	Initial TCE ,O ₂ , and water vapor concentrations
Nogushi <i>et al.</i>	Formaldehyde	Langmuir-Hinshelwood	Initial reactant concentration

Luo and Oll	Toluene	Langmuir-Hinshelwood	Catalyst be depth and relative humidity
uthor	Contaminant	Kinetic from used to describe the photo catalytic oxidation rate	Experimental parameters considered by model
Obee and Brown	Formadehyde , toluene , and 1,3-Butadiene	Langmuir-Hinshelwood	Initial reactant concentration and relative humidity
Turchi <i>et al.</i>	Isopropanol , acetone , and methanol	Modified Langmuir-Hinshelwood	Catalyst formulation , oxidant addition , and temperature
Nimlos <i>et al.</i>	Ethanol	Modified Langmuir-Hinshelwood	Two-site adsorption : the H-bonding site and the dissociation site
Suwannahong <i>et al.</i>	Dichloromethane	Modified Langmuir-Hinshelwood	Light intensity, initial reactant concentration, catalyst thickness, and Relative humidity

ที่มา: Sanongraj et al, 2007, Suwannahong et al, 2012

10.เอกสารอ้างอิงของโครงการวิจัย

1. Andronic L. and A. Duta. 2007. TiO₂ thin films for dyes photodegradation. Thin solid films. 515, 6294-6297.
2. Areerachakul N., S. Vigneswaran, H.H. Ngo and J. Kandasamy. 2007. Granular activated carbon (GAC) adsorption-photocatalysis hybrid system in the removal of herbicide from water. Separation and Purification Technology. 55: 206-211.
3. Bloemen, H.J Th., and Burn, J., 1993. Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 290.
4. Chen H.P. and H. Jenq. 1998. Kinetics of photocatalytic oxidation of trace organic compounds over titanium dioxide. Environmental International. 24: 871-879.
5. Chen J., D. Okis, W. Rulkens and H. Bruing. 1999. Kinetic processes of photocatalytic mineralization of alcohol on metalized Titanium dioxide Wat. Res. 33: 1173-1180

6. Chao Wang, Yanhui Ao, Peifang Wang, Jun Hou and Jin Qian. 2010. Preparation, characterization and photocatalytic activity of a novel composite photocatalyst: ceria-coated activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*. pp. 1-23.
7. Coronado J.M., M. Zorn, I. Tejedor and M. Anderson. 2003. Photocatalytic oxidation of Ketones in the gas phase over TiO₂ thin films: A Kinetic study on the influence of water vapor. *App. Cat. B: Env.* 43: 329-344.
8. Feiyan C., O.S. Pehkoenn and B.M. Ray. 2002. Kinetics and mechanism of UV-photodegradation of chlorinated organic in the gas phase. *Water Research*. 36, 4203-4214.
9. F. Fehsenfeld, J. Calvert, R. Fall, P. Goldan, A. B. Guenther, C. N. Hewitt, B. Lamb, S. Liu, M. Trainer, H. Westberg and P. Zimmerman, "Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry," *Global Biogeochem Cy*, vol. 6, no. 4, pp. 389-430, 1992.
10. Gianluca Li Puma, Awang Bonob, Duduku Krishnaiah and Joseph G. Collin. 2008. Preparation of titanium dioxide photocatalyst loaded onto activated carbon support using chemical vapor deposition: A review paper. *Journal of Hazardous Materials*. 157: 209-219.
11. G. Leson and A. M. Winer. 1991. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions, *J Air & Waste Manag Assoc*, Vol. 41(8):1045-1052
12. G. Leson and A. M. Winer, "Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions," *J Air & Waste Manag Assoc*, vol. 41, no. 8, pp. 1045-1052, 1991.
13. Habibi H. and M. Nasr-Esfahani. 2007. Preparation, characterization and photocatalytic activity of a novel nanostructure composite film derived from nanopowder TiO₂ and sol-gel process using organic dispersant. *Dyes and pigments* 75: 714-722.
14. Hager S., R. Bauer and G. Kudielka 2000. Photocatalytic oxidation of gaseous chlorinated organic over titanium dioxide. *Chemosphere* 41: 1219-1225.
15. Hongmin L., L. Zhiwei, Y. Xiaojiang and W. Feng. 2005. Kinetic analysis of photocatalytic oxidation of gas-phase formaldehyde over titanium dioxide. *Chemosphere* 60: 630-635.

16. Hung W., S. Fu., J. Iseng., H. Chu and T. Ko. 2007. Study on photocatalytic degradation of gas dichloromethane using pure and iron ion-doped TiO₂ prepared by the sol-gel method. *Chemosphere* 66: 2142-2151.
17. Ibhaddon O., A. Arabatzis, P. Falaras and D. Isoukleris. 2007. The design and photoreaction kinetic modeling of a gas-phase titanium foam pack bed reactor. *Chemical engineering J.* 133: 317-323.
18. Jacoby, W. A., Blake, D. M., Fennell, J. A., Boulter, J. E., Vargo, L. M., George, M. C. and Dolberg S. 1996. *K. J. of Air & Waste Management Association.* 46: 891-898.
19. Jeremy C., 2002. *Air pollution second edition.* London and New York.
20. Jiang F., Zhen Z., Z. Xu and S. Zgeng. 2009. Preparation and characterization of SiO₂-pillared H₂Ti₄O₉ and its photocatalytic activity for methylene blue degradation. *Journal of Hazardous Materials.* 164: 1250-1256.
21. Jinhan Mo , Yinping Zhang , Qiujian Xu , Jennifer Joaquin Lamson , Rongyi Zho. 2009. Photocatalytic purification of volatile organic compounds in indoor air:A literature review. *Atmospheric Environment* .43:2229-2246.
22. L. Zou, Y. Lu, M. Hooper, E. Hu. 2006. Removal of VOCs by photocatalysis process using adsorption enhanced TiO₂-SiO₂ catalyst, *Chem Eng Process,* Vol.45: 959-964
23. M. Mohseni and D.G. Allen. 2000. Biofiltration of mixtures of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds, *Chem Eng Sci,* Vol.55: 1545-1558.
24. M. Amann, "Emission inventories, emission control options and control strategies: An overview of recent developments," *Water Air Soil Poll,* vol. 130, no. 1, pp. 43-50, 2001.
25. Norman S. Allen , Michele Edge , Joanne Verran , J. Stratton , Julie Maltby , Claire Bygott. 2008. Photocatalytic titania based surfaces: Environmental benefits. *Poly Degradation and Stability.* 93:1632-1646.
26. Panida at al. 2008. Potential health effects of exposure to carcinogenic compounds in incense smoke in temple workers. *Chemico-Biological Interactions* 173 (2008) 19-31
27. Timothy N. Obee and Robert T. Brown. 1995. TiO₂ Photocatalysis for Indoor Air Applications : Effects of Humidity and Trace Contaminant Levels on the Oxidation Rates of Formaldehyde, Toluene, and 1,3-Butadiene : *Environmental Science Technology.* 29:1223-1231

28. Shaobin Wang , H.M. Ang and Moses O.Tade. 2007. Volatile organic compounds in indoor environment and photocatalytic oxidation : State of the art. Environment International. 33:694-705.
29. Suwannahong. K. , W. Liengcharoensit , W. Sanongraj and J. Kruenate. 2012 . Application of Nano-TiO₂/LDPE Composite film on photocatalytic oxidation degradation of dichloromethane. Journal of Environmental. 33: 955-959.
30. Suwannahong. K. , W. Liengcharoensit , W. Sanongraj , W. Phampan and J. Kruenate. 2012. Photo catalytic oxidation activity of carbon supported nano TiO₂-LDPE film. Journal of Environmental research and Development. Vol.7
31. Tseng K. T., Y. Shing Lin , Y. Ju Chen, Hsin Chu.2010,A Review of photocatalysts prepared by Sol-Gewl method for vocs removal,Int.J.Mol.Sci.11,2236-2361.
32. สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์, 2556. แผนการป้องกันและควบคุมโรคมะเร็งแห่งชาติ. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด

11. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น ด้านวิชาการ ด้านนโยบาย ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์ อุตสาหกรรม ด้านสังคมและชุมชน รวมถึงการเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

11.1 การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานในวารสารวิชาการระดับ (ระดับ ISI หรือ SCOPUS)

จำนวน.....1.....บทความ

11.2 การนำไปใช้ประโยชน์

- สามารถผลิตแผ่นฟิล์มที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂/Polyisoprene เพื่อนำไปใช้ในระบบบำบัด เบนซินในอากาศ
- เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป
- ถ่ายทอดความรู้ให้แก่ชุมชน ภาคอุตสาหกรรมและหน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้อง

12. แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานหรือประชุมวิชาการ/วารสารในระดับนานาชาติ และพัฒนาร่วมกับหน่วยงานที่ต้องการ

13. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

13.1 ผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 3)

13.1.1 เตรียมสารละลายดีสเปอร์ชันผสม TiO₂ ที่ปริมาณ 10.0 %W/W (Kowit S., 2012)

13.1.2 นำ Polyisoprene ในรูปของน้ำยางข้น 60 % (Concentrated Latex) มาผสมกับสารละลายดิสเพอร์ชันผสม TiO_2 ให้เข้ากันเป็นสารละลาย $\text{TiO}_2/\text{Polyisoprene}$ และกวนผสมให้เข้ากันโดยใช้ Magnetic Stirrer

13.1.3 เตรียมแผ่นอลูมิเนียมฟลอยด์ขนาด $18 \times 43 \text{ cm}^2$ เพื่อใช้เป็นแผ่นโครงสร้าง (Supporter) สำหรับรองรับฟิล์มยาง จากนั้นนำสารละลาย $\text{TiO}_2/\text{Polyisoprene}$ ใส่ในปืนพ่น (Pneumatic Spray Gun) และพ่นสารละลาย $\text{TiO}_2/\text{Polyisoprene}$ ลงบน Supporter

13.1.4 นำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่ได้ไปอบในตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะได้แผ่นแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 1 ชั้น จากนั้นนำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 มาพ่นและอบด้วยวิธีการเดิมอีก 2 ครั้ง จะได้แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 3 ชั้น สำหรับใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดเบนซีนในอากาศ

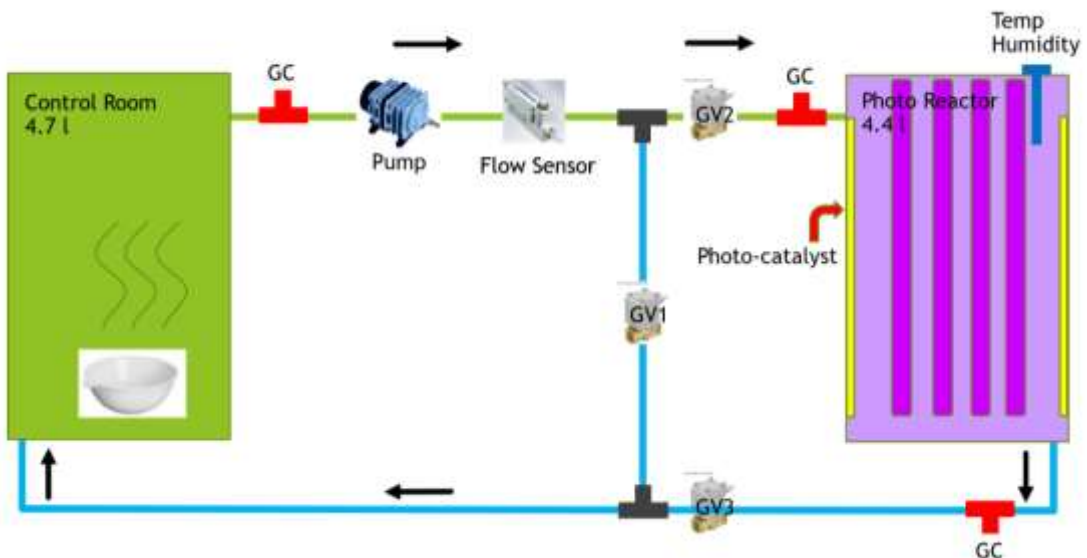
13.1.5 นำแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ที่ได้ไปตรวจสอบคุณสมบัติ ดังนี้

- ทดสอบลักษณะสัณฐานด้วย เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2
- วิเคราะห์ธาตุในแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 โดยใช้เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS)
- วิเคราะห์ผลึกโครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยา (Crystal Identification) เพื่อยืนยันชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้เทคนิค X-Ray Diffraction (XRD)
- ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
- ระบุปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่บรรจุอยู่บนแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 โดยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer
- วัดพื้นที่ผิวของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ในหน่วยของพื้นที่ต่อน้ำหนักด้วยเทคนิค BET Surface Area
- ทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 ด้วยเครื่อง Tensiometer
- วิเคราะห์ปริมาณ Benzene ที่ถูกกำจัด(ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพ) ด้วยเครื่อง Gas Chromatography (GC)



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการผลิตแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2

13.2 การออกแบบถังปฏิกรณ์ (photocatalytic oxidation reactor) ที่อาศัยหลักการของ กระบวนการ photocatalytic oxidation โดยออกแบบเป็นแบบ annular ที่ประกอบด้วย ถัง Stainless Steel (SS 314) ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 31 เซนติเมตร ปริมาตรสุทธิ 4.4 ลิตร ภายในถังปฏิกรณ์ติดตั้งหลอดกำเนิดแสงช่วง UV-C และแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 เชื่อมต่อกับห้องควบคุมสภาวะ (Control Room) ทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร สูง 31 เซนติเมตร ปริมาตรสุทธิ 4.7 ลิตร มีเครื่องสูบลม (Pump) สำหรับไหลเวียนอากาศ โดยท่อมีการควบคุมการปิด-เปิดด้วยวาล์วควบคุม มีการควบคุมอัตราการไหลโดยใช้ระบบควบคุมจากปั๊มและ วัดอัตราการไหลโดยใช้ Flow Sensor ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 photocatalytic oxidation reactor

13.3 ดำเนินการตรวจสอบปัจจัยจากความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ โดยการตรวจสอบการรั่วไหลของแก๊สเมื่อมีการเดินเครื่องด้วยเครื่องทดสอบรอยรั่ว Ultrasonic Air leak detector ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 Ultrasonic Air leak detector

และการตรวจสอบประสิทธิภาพของการบำบัด Benzene ในอากาศที่รู้ปริมาณความเข้มข้นที่แน่นอน แล้วฉีดผ่านระบบเก็บตัวอย่างอากาศที่ผ่านจากระบบตรวจสอบปริมาณด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี (GC-FID) แล้วดำเนินการทดลองบำบัด Benzene ในอากาศ ที่ความเข้มข้น 200, 300, 400, 500, 600 mg/m^3

ขั้นตอนที่ 2 แนวทางการดำเนินการทดลอง

13.4 แนวทางการดำเนินการทดลอง (ตารางที่ 1)

ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด Benzene ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชันโดยใช้ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ความเข้มของแหล่งกำเนิดแสง (Light Intensity), ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลพิษ (initial concentration), ปริมาณ หรืออัตราการไหลของมลพิษ (flow rate) และ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (Dosage) (Mo at al., 2009) ในการทดลอง เลือกตัวแปรที่จะทำการศึกษาได้แก่ ปัจจัยของความเข้มข้นเริ่มต้นของ Benzene (impact of initial concentration) และปัจจัยของอัตราการไหลของ Benzene (impact of flow rate) โดยควบคุมปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 (impact of dosage) ที่ปริมาณ 10 w/w และควบคุมความเข้มแสง (light intensity) 10.0 mw/cm^2

ตารางที่ 1 การวางแผนการทดลอง

การทดลองที่	Initial Concentration (ppm)	Flow rate (L/min)
1	200	5
2	200	10
3	200	15
4	200	20
5	200	25
6	300	5
7	300	10
8	300	15
9	300	20
10	300	25
11	400	5
12	400	10
13	400	15
14	400	20
15	400	25
16	500	5
17	500	10
18	500	15
19	500	20
20	500	25
21	600	5
22	600	10
23	600	15
24	600	20
25	600	25

13.4.1 ศึกษาปัจจัยของความเข้มข้นเริ่มต้นของ Benzene (impact of initial concentration) โดยทำการฉีด Benzene เข้าสู่ระบบปฏิกรณ์ในช่วงความเข้มข้น 200, 300, 400, 500, 600 ppm โดยการควบคุมอัตราการไหล ความเข้มพลังงานแสง แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ TiO_2 คงที่

13.4.2 ศึกษาปัจจัยของอัตราการไหลของ Benzene (impact of flow rate) โดยการปรับความเร็วลมที่ออกแบบไว้เฉพาะด้วยอุปกรณ์ปรับความเร็วลม พร้อมกับวัดความเร็วลมด้วยชุดความเร็วลม ให้มีปริมาณไหลเข้าตามที่ต้องการ (5, 10, 15, 20, 25 L/min) โดยการควบคุมความเข้มข้นของสาร Benzene ความเข้มพลังงานแสง แผ่นฟิล์มที่มีปริมาณ TiO_2 คงที่

14. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนอย่างละเอียด)

แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	2559			2560									
	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	
1. ประชุมคณะทำงานและกำหนดแผนงาน	■												
2. รวบรวมข้อมูลวัสดุและศึกษาวิธีการผลิตแผ่นตัวเร่งปฏิกิริยา	■	■											
3. เตรียมเครื่องมือและสารเคมีที่จะใช้ในการผลิต		■	■										
4. ขึ้นรูปแผ่นตัวเร่งปฏิกิริยา			■	■	■	■							
5. ศึกษาคุณสมบัติและศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของแผ่นตัวเร่งปฏิกิริยา				■	■	■	■	■					
6. ออกแบบและสร้าง Photo Reactor		■	■	■									
7. ทดลองวัดประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีน				■	■	■	■	■	■				
8. วิเคราะห์และประมวลผล						■	■	■	■	■			
9. สรุปผลการทดลอง								■	■	■	■		
10. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์											■	■	■

15. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

15.1 ถึงปฏิกรณ์เชิงแสง และห้องควบคุมสถานะ (Photo Reactor with Control Room)

16. ผลสำเร็จและความคุ้มค่าของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ

ระบุประเภทของผลสำเร็จของงานวิจัยเป็นอักษรย่อ

16.1 การนำไปใช้ประโยชน์

- สามารถใช้ยางธรรมชาติเป็นแผ่นฟิล์มผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO_2 เพื่อใช้ในการบำบัดเบนซีนด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (P)
- ทราบปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดเบนซีนที่เกิดจากกระบวนการโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน (I)

16.2 บทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ...ชื่อวารสารที่คาดว่าจะส่งผลงานตีพิมพ์
Journal of Environmental Biology (ISI Database), Walailak Journal of Science and Technology

16.3 ผลิตบัณฑิตศึกษา ระดับปริญญาเอก จำนวน 1 คน

17. งบประมาณของโครงการวิจัย

งบประมาณ รวมทั้งโครงการ300,000.....บาท

รายการ	จำนวน (คน)	จำนวนเงิน (บาท/ เดือน)	จำนวน (ชม,วัน, เดือน)	อัตราที่ จ่าย (บาท)
1. งบบุคลากร				
1.1 ค่าจ้างผู้ช่วยวิจัย	1 คน	5,000	12 เดือน	60,000
2. งบดำเนินงาน				
2.1 ค่าใช้สอย (ค่าใช้จ่ายเดินทางไปต่างจังหวัดเพื่อทำวิจัย)				
2.1.1 ค่าที่พัก	1 คน	1,500 บาท/วัน/คน	4 วัน 2 ครั้ง	12,000
2.1.2 ค่าเดินทาง (เหมาจ่ายครั้งละ 6,000 บ.) สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	1 คน	6,000 บาท/ครั้ง/ คน	2 ครั้ง	12,000
2.2 ค่าใช้จ่ายในการเข้าร่วมประชุมวิชาการ (เหมาจ่าย)				20,000
2.3 ค่าสาธารณูปโภค 10% ของงบประมาณที่เสนอขอ				30,000
2.4 ค่าวัสดุ				
2.4.1 ค่าสารเคมี - ก๊าซมาตรฐานเบนซีน ขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร - น้ำยาล้าง 60 % - TiO ₂		เหมาจ่าย		34,000
2.4.2 ค่าจ้างเหมาวิเคราะห์เฉพาะด้าน 2.4.2.1 ทดสอบลักษณะสัณฐานด้วย เครื่อง SEM (Scanning Electron		เหมาจ่าย		34,000

<p>Microscope) เพื่อศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂</p> <p>2.4.2.2 วิเคราะห์ธาตุในตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ Energy Dispersive X-Ray Spectrometer (EDS)</p> <p>2.4.2.3 Crystal Identification เพื่อยืนยันชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ X-Ray Diffraction (XRD)</p> <p>2.4.2.4 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂ โดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</p> <p>2.4.2.5 ระบุปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา โดย เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer</p> <p>2.4.2.6 วัดพื้นที่ผิวของอนุภาคในหน่วยของพื้นที่ต่อน้ำหนักด้วยเทคนิค BET Surface Area</p> <p>2.4.2.7 ทดสอบแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติที่ผสมตัวเร่งปฏิกิริยา TiO₂ ด้วย Tensiometer</p> <p>2.4.2.8 วิเคราะห์ปริมาณสารที่ถูกกำจัดด้วยเครื่อง (Gas Chromatography)</p>		
<p>2.4.3 ค่าวัสดุที่ใช้สร้างและปรับปรุงชุดทดสอบประสิทธิภาพการบำบัด Benzene “Photo Catalytic Oxidation Reactor”</p> <ul style="list-style-type: none"> - Photo Reactor (Anular Stainless Steel Tank) - UV-C Lamp - Air Pump (Lab Standard) - Flow Meter - Temperature Sensor - Humidity Sensor - GC Sampling Port 	<p>เหมาะสม</p>	<p>95,000</p>
<p>2.4.4 ค่าจัดพิมพ์รายงานและเข้าเล่ม</p>	<p>เหมาะสม</p>	<p>3,000</p>
<p>รวมงบประมาณ</p>		<p>300,000</p>

หมายเหตุ ; ถัวเฉลี่ยจ่ายทุกรายการ

17. ลงลายมือชื่อ หัวหน้าโครงการวิจัยและนักวิจัย

(ลงชื่อ)

ดร. อรรถโส ขำวิจิตร

(.....29 กันยายน 2559.....)

หัวหน้าโครงการ

ความคิดเห็น

.....
.....
.....

(ลงชื่อ)

รศ.ดร. จรรย์ บุญกาญจน์

(.....29 กันยายน 2559.....)

คณบดี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร

ส่วน ค : ประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) | นายอรรถโส ขำวิจิตร |
| (ภาษาอังกฤษ) | Mr. Attaso Khamwichit |
| 2. ตำแหน่งทางวิชาการ | - |
| 3. หมายเลขบัตรประชาชน | |
| 4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ | สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
222 ต. ไทยบุรี อ. ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช
80160
โทรศัพท์ 075-673433 โทรสาร 075-673247
E-mail : kattaso@wu.ac.th |

5. คุณสมบัติทางการศึกษา

ชื่อปริญญา	วิชาเอกสาขาสถาบันการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ	สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี	วิศวกรรมเคมี	จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย	ประเทศไทย	2538
ปริญญาโท	Chemical Engineering	Michigan	USA	2541

		Techonological Univerisity		
ปริญญาเอก	Ph.D Chemical Engineering	University of Texas at Austin	USA	2549

6. สาขาที่เชี่ยวชาญ

- Air Quality Modeling and Control
- วิศวกรรมวัสดุ

7. บทความตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมสัมมนา

1. วิภาวี ขำวิจิตร ,ธนิดา เจริญสุข และอรรถโส ขำวิจิตร. “ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากเตาเผามูลฝอยและสารเคมี,”วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 3:1(มกราคม – มิถุนายน 2553):1-11.
2. อรรถโส ขำวิจิตร. “กระบวนการทำกลีเซอรินให้บริสุทธิ์จากการผลิตไบโอดีเซล (บรรยาย),” การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมงานวิจัย

- | | |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ) 2. ตำแหน่งทางวิชาการ 3. หมายเลขบัตรประชาชน 4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ | <p>นางวิภาวี ขำวิจิตร
Mrs. Wipawee Khamwichit
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
3110400862780
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร
มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ต.ไทยบุรี อ.ท่าศาลา
จ.นครศรีธรรมราช โทรศัพท์ 075-673200
โทรสาร 075-673247
Email kwipawee@wu.ac.th</p> |
|--|---|

5. คุณสมบัติทางการศึกษา

ชื่อปริญญา	วิชาเอกสาขาสถาบันการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ	สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี	วศ.บ.วิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ประเทศไทย	2538
ปริญญาโท	MS.Chemical Engineering	Michigan	USA	2541

		Techonological Univerisity (GPA 3.77)		
ปริญญาเอก	Ph.D Chemical Engineering	University of Texas at Austin (GPA 4.00)	USA	2545

6. สาขาที่เชี่ยวชาญ

1. Material and energy balance
2. Thermodynamics
3. Chemical engineering kinetics
4. Environmental chemical engineering
5. Water supply and wastewater treatment
6. Engineering management
7. Engineering economy
8. Research methodology
9. Air pollution control

7. บทความตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมสัมมนา

1. S. Khami, W. Khamwichit, C. Siripattana, “kinetic and linear equation of adsorption by TiO₂ nanofilm coating in photocatalytic reactor”, Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(11); 2490-2494, 2016
2. T. Punpruk, W. Khamwichit, and A. Khamwichit, “The estimate of energy generation potential of biomass residue from oil palm industries”, IPN conference, Chaing Mai, 19-20 October, 2016
3. T. Punpruk, W. Khamwichit, and A. Khamwichit, “Study of biomass potential in southern Thailand to be used in downdraft gasifier” 24th TiChE conference, December 18-19, 2015
4. Triped, J., Sanongraj, W., and Khamwichit, W., “Photocatalytic oxidation of gaseous formaldehyde using the TiO₂ coated SF filter” International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering Vol. 8 No. 5, 2014

5. Makvilay, S., Sanongraj, W., Khamwichit, W., "Turbidity removal using silk sericin and silk sericin power as coagulant aids", *Advanced Materials Research Vols. 931-932 (2014)*, pp 276-280
6. Khami S., Khamwichit, W., and Suwannahong., K., "Characteristics of bacterial cellulose production from agricultural wastes", *Advanced Materials Research Vols. 931-932 (2014)*, pp 693-693
7. Wdachasit, P., Khamwichit, W., Sanongraj, W., "The synthesis of air filters from silk cocoons coated TiO₂ for use in air purifier", *Advanced Materials Research Vols. 931-932 (2014)*, pp 281-285
8. Khamwichit, W. and Sanongraj, W., "Quantity of Formaldehyde in Particleboards", *Advanced Materials Research Vols. 931-932 (2014)*, pp 665-670
9. Makvilay, S., Sanongraj, W., Khamwichit, W., "Preparation and Characterization of the TiO₂ coated silk fibroin filters", *Applied Mechanics and Materials Vol. 535 (2014)*, pp 802-806
10. Khamwichit, W. Reungkaew, K., Sangkumlee, W., and Khami, S., "Adsorption Efficiency of Heavy Metal from Wastewater Using Packing Column Made from Oil Palm and Coconut Fibers" *Proceeding of the 13rd National Environmental Conference, 27-29 March 2013, Pullman Raja Orchid hotel, Khonkaen, Thailand*
11. Makvilay, S., Hlongsamant, T., Jaiman, W., Sanongraj, W., and Khamwichit, W. "Utilization of Silk Sericin and Powder Silk Sericin as Coagulant Aid for Turbidity Removal," *GMSARN International Conference on Social-Energy-Environmental Development: SEED towards Sustainability, March 28-30, 2011, Grand Paradise Nongkhai, Nongkhai, Thailand.*
12. Pahasupanan, T., Sanongraj, W., and Khamwichit, W. "Emission of Formaldehyde from Particleboards," *GMSARN International Conference on Social-Energy-Environmental Development: SEED towards Sustainability, March 28-30, 2011, Grand Paradise Nongkhai, Nongkhai, Thailand.*
13. Khamwichit W. and Jareansuk T., "Environmental Impact from Waste Incinerator of Walailak University" *Proceedings of the 9th National Environmental Conference, March 24-27, 2010, Sunee Grand Hotel & Convention Center, Ubonratchathani, Thailand.*

14. Khamwichit, W. and Khamwichit, A. "Purification process of glycerin from biodiesel production", The Proceedings of National Environmental Conference 7th, 25-27 March, 2009, Nakornratchasima, Thailand.
15. Khamwichit W., Jareonsuk T., and Khamwichit A., "Environmental and Health Impacts from Chemical and Infectious Waste Incinerator", UBU Engineering Journal, 2009, Vol. 2. No. 2
16. Sanongraj, W., Khamwichit, W., Yangderm, W., Chaowchan, P., and Sansana, P. "Extraction of Dye Pigment from Dragon Fruit Peel," UBU Engineering Journal, January-June 2009. Vol. 2, No. 1.
17. Wongcharee, S., Sanongraj, S., Sanongraj, W., and Khamwichit, W. "Copper Solution Removal Using Activated Carbons Produced from Cow Dung by Chemical Activation," The Proceedings of 7th National Environmental Conference, 12-14 March 2008, Chulabhorn Research Institute, Bangkok
18. Khamwichit W. and Khamwichit A., "Purification of Glycerin as a By-Product from Biodiesel Production using Used Vegetable Oils", UBU Engineering Journal, 2008, Vol. 1. No. 1
19. Sanongraj, W., Khamwichit, W., Sanongraj, S., and Kanwan, Y. "Estimation of Total Suspended Particle Dispersion from Infectious Waste Incinerator of Sappasitthiprasong Hospital using AERMOD," The Proceedings of 7th National Environmental Conference, 12-14 March 2008, Chulabhorn Research Institute, Bangkok
20. Weerasak, T., Suwannahong, K, Sanongraj, W., Sanongraj, S., and Khamwichit, W., "Indoor Air Quality at Fort Sappasit-tiprasong Hospital, Ubonratchathani," The Proceedings of National Environmental Conference 6th, 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
21. Suwanno, S., Sanongraj, W., Sanongraj, S., and Khamwichit, W., "Health Impact Assessment from Particulate Matter and Noise on Rice Mill Workers in Ubonratchathani," The Proceedings of National Environmental Conference 6th, 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
22. Sanongraj, W., Khamwichit, W., Sanongraj, S., and Kulwong, S., "Quantity and Compositions of Infectious Waste and Concentrations of Air Pollutants Generated from Infectious Waste Incinerator," The Proceedings of National

- Environmental Conference 6th, 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
23. Khamwichit W and Yangderm W. "Color pigment extraction and drying from dragon fruit and heavy metal in the extracted pigment analysis using AAS" The 17th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry Conference October, 2005
 24. Khamwichit, W.; Sanongraj, W.; Sanongraj, S. "Study of Environmental Impacts Before and After Using the Organic-Chemical Fertilizer in Rice Paddy Fields" Walailak J Sci & Tech 2006; 3(1): 51-68
 25. Sanongraj, W.; Khamwichit, W.; Sanongraj, S.; Kullawong, S.; Khomwun, Y. "Quantity and Compositions of Infectious Waste and Concentrations of Air Pollutants Generated from Infectious Waste Incinerator" 1st Conference of Ubonratchathani University, July 28-29, 2006, Ubonratchathani, Thailand
 26. Wipada Sanongraj and Wipawee Khamwichit, "Indoor Air Pollutants Adverse Health Effects and Prevention," Thai Environmental Engineering Magazine, November-December, 2004, Vol. 1, No. 6, p. 33-36.
 27. Wipawee Khamwichit and Wipada Sanongraj, "Indoor Air Particulate Adverse Health Effects and Prevention," Thai Environmental Engineering Magazine, January-February, 2005, Vol. 2 No. 1, p. 29-34.
 28. W. Dechapanya, M. Russell, and D.T. Allen "Estimates of Anthropogenic Secondary Organic Aerosol Formation in Houston, Texas", Aero Sci. & Tech., 2004, 38, 156-166
 29. W. Khamwichit, D.T. Allen "Estimates of Anthropogenic Secondary Organic Aerosol Formation in Houston, Texas", Annual Conference. 30-31 October, 2003. Royal Hills Resort and Golf Course Nakornnayok, Thailand
 30. W. Dechapanya, A. Eusebi, Y. Kimura, and D.T. Allen "Secondary Organic Aerosol Formation from Aromatic Precursors Part II: Mechanisms for Lumped Aromatic Hydrocarbons", Environ. Sci. & Techno., 2003, 37, 3671-3679.
 31. W. Dechapanya, A. Eusebi, Y. Kimura, and D.T. Allen "Secondary Organic Aerosol Formation from Aromatic Precursors Part I: Mechanisms for Individual Hydrocarbons", Environ. Sci. & Techno., 2003, 37, 3662-3670
 32. W. Dechapanya, D.T. Allen "Mechanistic Models of Secondary Organic Aerosol Formation and Their Application to Houston Conditions", TexAQS Conference 2002, Austin, Texas USA

33. W. Dechapanya, D.T. Allen “Modeling Secondary Organic Aerosol Formation in Houston, Texas”, American Association for Aerosol Conference Research 20th Annual Conference 2001, Oregon USA
34. D.R. Shonnard, T.N. Rogers, D.A. Crowl, P.P. Radecki, J.R. Baker, B.A. Barna, R.S. Butner, W. Dechapanya, D.W. Hertz, D. Hiew, M. Hoza, A.A. Kline, P. Parikh, and C. Sangwichien, “Methods for Integrating Environmental Considerations into Chemical Process Design Decisions,” US EPA document EPA/600/R-01/002, January 2001
35. W. Dechapanya, Y. Kimura, and D.T. Allen “Mechanistic Models of Secondary Organic Aerosol Formation and Their Application to Houston Conditions”, AIChE Spring conference 2000, Houston, Texas USA
36. W.Dechapanya, T.N.Rogers, J.R. Baker, and P.P. Radecki “Application of the Analytic Hierarchy Process for Integrating Environmental Considerations into Process Design Decisions”, S.K. Sikdar and U. Diwekar (eds.), Tools and Methods for Pollution Prevention, 367-383, 1999
37. W. Dechapanya, T.N. Rogers “Multi-Criteria Analysis of Solvent Recovery Technologies with Respect to Their Environmental, Safety, and Economic Attributes”, CenCITT Conference 1998, Twin Campus Minnesota USA

ปริญญาเอก	Ph.D Environmental Engineering	University of Texas at Austin	USA	2545
-----------	-----------------------------------	----------------------------------	-----	------

6. สาขาที่เชี่ยวชาญ

- Photocatalytic Oxidation Process
- Advanced Oxidation Process
- Indoor Air Treatment
- Outdoor Air Dispersion Models

7. บทความตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมสัมมนา

1. Khamwichit, W.; Sanongraj, W.; Sanongraj, S. "Study of Environmental Impacts Before and After Using the Organic-Chemical Fertilizer in Rice Paddy Fields" *Walailak J Sci & Tech* 2006; 3(1): 51-68205
2. Sanongraj, W.; Sanongraj, S. Crittenden, J. C. "Simplified Pseudo-Steady-State Model for the H₂O₂/UV Process" International Conference on Modeling in Chemical and Biological Engineering Sciences, October 25-27, 2006, The Rama Gardens Hotel, Bangkok, Thailand.
3. Srion, A.; Sanongraj, S.; Sanongraj, W. "Natural Organic Matter Removal Using Photocatalytic and Photolysis Processes" 16th Conference of Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry: Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 26-27 October, 2006.
4. Wongcharee, S.; Sanongraj, S.; Jitcharearn, J.; Sanongraj, W. "Internal Structure Characterization of Palm-Oil Shell from Activated Carbon Process" 16th Conference of Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry: Rama Garden Hotel, Bangkok, Thailand, 26-27 October, 2006.
5. Sanongraj, W.; Khamwichit, W.; Sanongraj, S.; Kullawong, S.; Khomwun, Y. "Quantity and Compositions of Infectious Waste and Concentrations of Air Pollutants Generated from Infectious Waste Incinerator" 1st Conference of Ubonratchathani University, July 28-29, 2006, Ubonratchathani, Thailand.
6. Wipawee Khamwichit and Wipada Sanongraj, "Indoor Air Particulate Adverse Health Effects and Prevention," *Thai Environmental Engineering Magazine*, January-February, 2005, Vol. 2 No. 1, p. 29-34.

7. Wipada Sanongraj and Wipawee Khamwichit, "Indoor Air Pollutants Adverse Health Effects and Prevention," Thai Environmental Engineering Magazine, November-December, 2004, Vol. 1, No. 6, p. 33-36.
8. Sanongraj, W., Hand, D.W., Crittenden, J.C., Chen, Y.S., and Perram, D.L., "Mathematical Model for Describing Impact of Relative Humidity Destruction of Organic Contaminants in Photocatalytic Reactor," Proceeding of Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies, December 18-21, 2003, Tainan, Taiwan, p. A2-33-A2-40.
9. Sanongraj, W., Hand, D.W., Crittenden, J.C., Chen, Y.S., and Perram, D.L., "Mathematical Model for Describing Destruction of Toluene using the Photocatalytic Oxidation Process," 13th Conference of Thai Chemical Engineering and Applied Chemistry, 2003 Annual Conference. 30-31 October, 2003. Royal Hills Resort and Golf Course Nakornnayok, Thailand. 206
10. Suwannahong, K., Sanongraj, W., Sanongraj, S., and Lieangcharernsit, W., "Removal of Volatile Organic Compounds by Photocatalytic Oxidation Process using TiO₂ Coated Fiber Glass," The Proceedings of National Environmental Conference 6th , 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
11. Sanongraj, W., Khamwichit, W., Sanongraj, S., and Kulwong, S., "Quantity and Compositions of Infectious Waste and Concentrations of Air Pollutants Generated from Infectious Waste Incinerator," The Proceedings of National Environmental Conference 6th , 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
12. Suwanno, S., Sanongraj, W., Sanongraj, S., and Khamwichit, W., "Health Impact Assessment from Particulate Matter and Noise on Rice Mill Workers in Ubonratchathani," The Proceedings of National Environmental Conference 6th , 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
13. Weerasak, T., Suwannahong, K., Sanongraj, W., Sanongraj, S., and Khamwichit, W., "Indoor Air Quality at Fort Sappasit-tiprasonk Hospital, Ubonratchathani," The Proceedings of National Environmental Conference 6th , 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon Hotel, Pitsanulok, Thailand.
14. Topol, T., Sanongraj, S., Sanongraj, W., and Poonprasit, M., "Prediction of Optimal Alum Dosage for Water Supply Processes," The Proceedings of

National Environmental Conference 6th , 7-9 March, 2007, Ammarin Lagoon
Hotel, Pitsanulok, Thailand.

ผู้ร่วมงานวิจัย

- ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นายโกวิท สุวรรณหงษ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Kowit Suwannahong
- ตำแหน่งทางวิชาการ รองคณบดี คณะสาธารณสุขศาสตร์
มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น
- หมายเลขบัตรประชาชน 3310400067384
- หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น
เลขที่ 600 ต.สระลงเรือ อ.ห้วยกระเจา จ.กาญจนบุรี
71170 โทรศัพท์ 035-651000
E-mail kowit007@gmail.com
- คุณวุฒิทางการศึกษา

ชื่อปริญญา	วิชาเอกสาขาสถาบันการศึกษา	สถาบันการศึกษา	ประเทศ	สำเร็จการศึกษา
ปริญญาตรี	วท.บ.(จุลชีววิทยา)	Khonkaen University.	ประเทศไทย	2539
ปริญญาโท	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้า ธนบุรี	ประเทศไทย	2542
ปริญญาเอก	ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎี บัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	ประเทศไทย	2556

- สาขาที่เชี่ยวชาญ
 - Air Quality Modeling and Control
 - จุลชีววิทยา
- บทความตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมสัมมนา

- Suwannahong. K. , W. Liengcharoensit , W. Sanongraj and J. Kruenate. 2012 . Application of Nano- TiO₂/LDPE Composite film on photocatalytic oxidation degradation of dichloromethane. Journal of Environmental. 33: 955-959.(impact factor 0.64)
- Suwannahong. K. , W. Liengcharoensit , W. Sanongraj , W. Phampan and J. Kruenate. 2012. Photo catalytic oxidation activity of carbon supported nano TiO₂-LDPE film. Journal of Environmental research and Development. Vol.7
- Suwannahong K., W. Liengcharoensit, and W. Sanongraj. 2010. TiO₂ composite film prepared by the blown film extrusion technique. *In* The Asian-Pacific Regional Conference on Practical Environmental Technologies. Ubonratchathani, Thailand 24-27 March, 2010.

4. N. Tangchantra , S. Supattanapalapol , Winai Liengchaerensit , J. Kruenate and K. Suwannahong. 2011. Modified TiO₂/LDPE Composite Film on Photo catalytic Degradation of Dichloromethane. In The 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity” Thai Society of Higher Education Institutes on Environment. Bangkok , Thailand 22-25 March , 2011.
5. Waranya Phompan , Thammarak Sooksomsong , Suntaree Siraratprapa , Suebpong Kongnium , Jitiporn Kruenate , Wipada Sanongraj , and Kowit Suwannahong.2011. Characterization and Photo Catalytic Oxidation Activity of carbon Supported LDPE/Niño- TiO₂ Composite Film. In The 1st EnvironmentAsia International Conference on “Environmental Supporting in Food and Energy Security: Crisis and Opportunity” Thai Society of Higher Education Institutes on Environment. Bangkok , Thailand 22-25 March , 2011.
6. N. Tangchantra¹, W. Pompan¹, K.Nacmool¹, K. Jai-eau¹, P. Amornpanpokin¹, J. Kruenate¹, K.Suwannahong² . 2012. Influence of TiO₂/PLA Biocomposite Supporter on Photocatalytic Oxidation Activity of the TiO₂. Burapha University International Conference 2012 Burapha University, Thailand . July 9-11, 2012.
7. P. Katrun , S. Supattanapalapol , N.Tangchantra , K. Nacmool , J. Kruenate , K. Suwannahong. 2012. The effect of modified TiO₂ embedded in the biopolymer matrix on the efficacy of Dichloromethane degradation. Burapha University International Conference 2012 Burapha University, Thailand . July 9-11, 2012.
8. W. Phompan , T.Sooksomsong , P. Amornpanpokin , J. Kruenate , N. Tangchantra , K. Jai-eau , K. Suwannahong. 2012. Photocatalytic oxidation activity of carbon supported TiO₂/HDPE nanocomposite film. Burapha University International Conference 2012 Burapha University, Thailand . July 9-11, 2012.
9. Praewpan Katrun, Suchart Supattanapalapol, Nantavat Tangchantra, KasineeNacmool,Jitiporn Kruenate, Kowit Suwannahong. 2012. The effect of modified TiO₂ embedded in the biopolymer matrix on the efficacy of Dichloromethane degradation. Burapha University International Conference 2012.

10. Suwannahong Kowit. 2011. Biogas potential from hydrilla verticillata. Journal of environment research and development, Bhopal,India.
11. Tharasawatpipat Chaisri and Kowit Suwannahong. Biogas product from Municipal solid waste and Agricultural waste by participation of Bangnangli community. 2012 IEDRC Jeju Island Conferences
12. Amornpanpokin Pannawit, Suchart Supattanpalapol, Praewpan Katrun, Tammarak Sooksomsong, Kanisorn Jai-eau, Jittiporn Krueante, Kowit suwannahong. 2012. The adsorption of direct dyes by zeolite. Burapha University International Conference 2012.
13. Amornpanpokin P., Kowit S., Jittiporn K., Kanisorn J., Suchart S., Tammarak S.. 2012. Removal of copper(II) ion from aqueous solution by activated carbon prepared from coconut husk. Pure and applied chemistry international conference 2013.
14. Suwannahong K. 2012. Photocatalytic oxidation degradation of volatile organic compound with nano- TiO₂ /LDPE composite film. World academy of science, engineering and technology.