รหัสโครงการ SUT1-104-58-12-19

รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

(The efficiency of Nanoscale Zinc Oxide (nZnO) for remediation of formaldehyde solution in anatomical laboratories)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT1-104-58-12-19

รายงานการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์

(The efficiency of Nanoscale Zinc Oxide (nZnO) for remediation of formaldehyde solution in anatomical laboratories)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
อาจารย์ ดร.ราเชนทร์ โกศัลวิตร
สาขาวิชากายวิภาคศาสตร์
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วราภรณ์ โกศัลวิตร
อาจารย์ ดร. วรรณา สายแก้ว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

ตุลาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ ต้องขอขอบคุณทุกคนที่เกี่ยวข้อง และหน่วยงานต่างๆ ที่ให้การสนับสนุน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2558

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดน้ำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เตรียมโดยการใช้สารฟอร์มาลดีไฮด์ 40% ให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ คือ 100 ppm จาก Stock Standard 1,000 ppm การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การกำจัดสารฟอร์มาดีไฮด์ การศึกษาดำเนินการโดยเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ (500, 1,000 และ 2,000 ppm) ทิ้งไว้ในระยะเวลาที่ต้องการ 30, 60 และ 90 นาที หลังจากนั้นวัดปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ที่เหลือ โดยใช้วิธีทาง Spectrophotometry วัตถุประสงค์ในการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ในการทำกำจัด เพื่อกำหนดอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และ อัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) โดยทดลองในสภาวะที่ไม่มี และมีแสงแดด โดยภาวะไร้แสงจะทำการห่อหุ้มภาชนะด้วยกระดาษฟอยล์

ผลการศึกษาในสภาวะไม่มีแสงแดด พบว่า ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการกำจัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ค่อยข้างต่ำ ได้แก่ 7.76, 8.58 และ 9.29 ตามลำดับ (500, 1,000 และ 2,000 ppm) ในขณะที่การทดลองโดยใช้แสงแดดเป็นตัว Photocatalyst ผลของ Removal efficiency ได้เพิ่มขึ้นเป็น 15.12, 17.92 และ 19.04 ตามลำดับ

จากผลการศึกษา Optimum time ในสภาวะที่มีแสงแดด โดยมี Removal efficiency สูงสุดที่ระยะเวลา 90 นาที ที่ 18.77 % ซึ่งอาจถือได้ว่าไม่สูงมาก และใกล้เคียงกับผลของระยะเวลา 60 นาที (17.92 %) ถ้าจะเพิ่ม Removal efficiency อาจต้องเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่า 90 นาที ซึ่งอาจจะนานเกินไป จากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการกำจัดกับสารฟอร์มาดีไฮด์อาจมีประสิทธิภาพไม่สูงมาก ถึงแม้จะใช้แสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Photocatalyst)

Abstract

This study aimed to investigate efficiency of zinc oxide nanoparticles for remediating formaldehyde in water. Formaldehyde solution was prepared from stock standard 1,000 ppm in order to obtain a desired concentration 100 ppm as used in this experiment. A study was conducted by the addition of zinc oxide nanoparticles at different concentrations (500, 1,000 และ 2,000 ppm) for a period of time 30, 60 and 90 minutes. The concentration of formaldehyde was determined by means of spectrophotometry. The purposes of this research were to determine the optimum dosages, the degradation rate or removal efficiency and the kinetic removal rate. The experiments were carried out either with or without exposure to sunlight by wrapping with aluminum foil.

The result of the experiment without sunlight was found that the removal efficiency of nanoparticle zinc oxide in the removal of formaldehyde was quite low. There were 7.76, 8.58, and. 9.29, respectively (500, 1,000 and 2,000 ppm) while that with sunlight showed that the removal efficiency were higher. There were 15.12, 17.92 and 19.04 respectively.

The optimum time in the presence of sunlight was up to 90 minutes at 18.77%. This could be considered as a low rate of efficiency and it was slightly higher than that with a period of 60 minutes (17.92%). The removal efficiency may be increased by a longer period of time (more than 90 minutes). This may be too long. The study can be concluded that the use of zinc oxide nanoparticles to eliminate the formaldehyde was not much effective both with and without the exposure to sunlight as photocatalyst.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย	
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	5
สารเคมี.....	5
วิธีดำเนินการวิจัย และวิธีวิเคราะห์ข้อมูล.....	5
บทที่ 3 ผลการวิจัย	
การศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของ	
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	8
การศึกษาประสิทธิภาพอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการบำบัด	
สารละลายฟอร์มาดีไฮด์.....	13
บทที่ 4 บทสรุป	
สรุปผลการวิจัย	17
ข้อเสนอแนะ	18
บรรณานุกรม	19
ประวัติผู้วิจัย	21

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงผลของ Kinetic removal rate of formaldehyde removal 15

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์.....	2
ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างและขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM	9
ภาพที่ 3 ลักษณะรูปร่างและขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เครื่อง TEM	10
ภาพที่ 4 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายฟอร์มาดีไฮด์.....	11
ภาพที่ 5 แสดงผลปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ ในการทดลองในสภาวะไม่มีแสงแดด.....	12
ภาพที่ 6 แสดงผลปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ ในการทดลองในสภาวะที่มีแสงแดด	13
ภาพที่ 7 แสดงอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate).....	15
ภาพที่ 8 แสดงผล Kinetic removal rate of formaldehyde removal	16

คำอธิบายสัญลักษณ์

nZnO	=	Nano Zinc Oxide
TEM	=	Transmission Electron Microscopy
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
ppm	=	Part Per Million

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สารเคมีอันตราย ถูกนำมาใช้เพื่อกิจกรรมต่างๆ มากมายทั้งในภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม สารเคมีอันตรายเหล่านี้ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมทั้งในแหล่งน้ำ และดินถือเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมซึ่งทั่วโลกตระหนักและให้ความสำคัญรวมทั้งประเทศไทยซึ่งมีการปนเปื้อนของสารอันตรายหลายชนิด อาทิเช่น สารปราบศัตรูพืช ของเสียจากขบวนการปิโตรเคมี สารเคมีจากอุตสาหกรรม สารเคมีที่ใช้ในหน่วยงานทหาร เป็นต้น เนื่องจากปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เศรษฐกิจ สังคม และทรัพยากรธรรมชาติทั้งโดยตรงและโดยอ้อม

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde; HCHO) เป็นสารไม่มีสี ระเหยง่ายในอากาศ แต่มีกลิ่นฉุน ถูกนำมาใช้ในการผลิตเม็ดพลาสติก, สารฆ่าเชื้อรา และใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น (Kumar et al. 2007, Tejado et al. 2007) ปัจจุบันฟอร์มาลดีไฮด์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการรักษาตัวอย่างเนื้อเยื่อสัตว์ รวมทั้งใช้การดองร่างอาจารย์ใหญ่ หรือเก็บรักษาอวัยวะต่างๆ เพื่อใช้ในการเรียนการสอนนักศึกษาแพทย์ และมีการใช้ในปริมาณมาก สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ใช้ในการดอง ถูกเรียกว่า ฟอร์มาลีน (Formalin) ซึ่งมีความเข้มข้นฟอร์มาลดีไฮด์ 37 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตรตัวทำสารละลาย (w/v) หรือ 40 % โดยปริมาตรต่อปริมาตรตัวทำสารละลาย (v/v) โดยทั่วไปฟอร์มาลีนมักถูกเติม เมทานอล (Methanol) ลงไป 10-12 % เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดการเปลี่ยนรูปไปเป็นกรดฟอร์มิก (Formic acid) ซึ่งมีพิษรุนแรงมากกว่าและป้องกันการ Polymerization ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดพิษ เป็นสารก่อมะเร็ง และ ที่มีผลระคายเคืองต่อตาและระบบทางเดินหายใจ

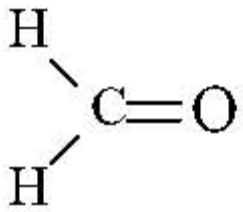
สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ หากถูกทิ้งไปสู่สิ่งแวดล้อม อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ และดินได้ นอกจากนั้นอาจทำให้เกิดมลพิษในอากาศ มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ ดังนั้นสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ควรถูกบำบัด หรือ ทำให้เป็นสารละลายที่เจือจาง ก่อนทิ้งลงสู่ระบบน้ำทิ้ง การบำบัดอาจทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารเคมี, Anaerobic biological methods, aerobic treatment systems หรือ wetland systems เป็นต้น (Baraka et al. 2007, Herrera et al. 2008, Qaderi et al. 2011) รวมทั้งเร็วๆ นี้ มีการใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ (Zeng et al. 2014) การบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มีปริมาณมากจึงต้องเป็นวิธีบำบัดที่มีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และประหยัด

นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจสำหรับการศึกษาในปัจจุบัน (Masciangioli and Zhang 2003) ไม่ว่าจะเป็นในด้านการแพทย์ วิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรม นาโนเทคโนโลยีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อให้เห็นผลสัมฤทธิ์ในเวลาที่เร็วกว่าเทคโนโลยีชีวภาพ นาโนเทคโนโลยี คือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้าง หรือการวิเคราะห์ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมาก ๆ ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) (El-Shall et al. 1995, Abdullah et al. 2004) อนุภาคขนาดนาโนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่นการนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุต่างๆ การบำบัดสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม สารที่มีอนุภาคขนาดนาโน ที่มีรายงานว่านำมาใช้ในการบำบัดสารเคมีตกค้างในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ Nano Zero Valent Iron (nZVI) (Welch 2007) และ นาโนซิงค์ออกไซด์ (nZnO) เป็นต้น อนุภาคขนาดนาโนของซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (Fouad et al.2006, Spanhel

and Anderson 1991 Yadollah et al. 2012) ซิงค์ออกไซด์จึงถูกศึกษาวิจัย ในการนำมาใช้เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการบำบัดสารเคมี

ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจ ถึงการศึกษาวิจัยและพัฒนานาโนเทคโนโลยี และเพื่อทราบถึงศักยภาพและความเป็นไปได้ของการนำนาโนเทคโนโลยี หรือการนำนาโนซิงค์ออกไซด์มาบำบัดฟอร์มาลีนที่ใช้ในการดองอวัยวะ หรือ ร่างอาจารย์ใหญ่ ซึ่งจะใช้ความเข้มข้นฟอร์มาลีน 10 % ซึ่งจะมีความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์ 4.0 % ในน้ำ ซึ่งในแต่ละปีมีการใช้เป็นปริมาณที่มาก โดยเฉพาะในสถาบันการศึกษาที่มีการเรียนการสอนในสาขาแพทยศาสตร์และวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) มีสูตรทางเคมี HCHO หรือ CH_2O เป็นสารจำพวกอัลดีไฮด์ มีสถานะเป็นก๊าซที่ระเหยได้ง่าย ไม่มีสี ชื่อในระบบ IUPAC ของฟอร์มาลดีไฮด์ คือ Methanal เป็นสารเคมีที่ก่อให้เกิดพิษ เป็นสารก่อมะเร็ง และที่มีผลระคายเคืองต่อตาและระบบทางเดินหายใจ (Kumar et al. 2007, Tejado et al. 2007) มีสูตรโครงสร้างคือ



ภาพที่ 1 สูตรโครงสร้างของฟอร์มาลดีไฮด์

จากงานวิจัยเกี่ยวกับการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ ได้ถูกรายงานว่า มีศึกษาโดยใช้วิธี Biological aerated filter (BAF) และ Wetland reactors โดย Herrera Melian และคณะ ซึ่งพบว่าทั้ง 2 วิธีดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การบำบัดด้วยวิธีการนี้อาจต้องมีการลงทุนที่สูงในการสร้างเครื่องมือ หรือ Reactors

ในขณะที่การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์โดยใช้วิธี Aerobic biological treatment systems เปรียบเทียบระหว่าง 2 ระบบ คือ Moving Bed Biofilm (MMBR) และ Sequencing Batch Reactors (SBR) ผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์โดยวิธี SBR ดีกว่า MBBR ในขณะที่สถาบันการศึกษาในประเทศไทย ก็มีโครงการใช้สารแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เพื่อการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2010) ก่อนทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม จะเห็นได้ว่า ความพยายามในการศึกษาวิจัยการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนฟอร์มาลดีไฮด์ ยังมีรายงานการวิจัยที่ไม่มาก และมีข้อจำกัด ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณสารละลายที่มากในรูปของน้ำทิ้ง วิธีการที่อาจซับซ้อน มีการลงทุนที่สูง หรืออาจใช้เวลานานในการบำบัด ในทางปฏิบัติหากสารฟอร์มาลดีไฮด์มีปริมาณมาก อาจว่าจ้างบริษัทเอกชนในการบำบัด และทำลายสารพิษดังกล่าว

อนุภาคขนาดนาโน (Nanoparticles) คือ วัสดุหรืออนุภาคที่มีขนาดในช่วงนาโนเมตร คือระหว่าง 1 ถึง 100 นาโนเมตร (nm) หรือแสดงในรูปของมาตรฐานสากลในรูป 10^{-9} ของเมตรนี้ เมื่อเทียบขนาดสิ่งที่เรามองเห็นเช่นเส้นผม มีขนาดเท่ากับ 80,000 นาโนเมตร อนุภาคของนาโนหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้ในงานทางด้าน

สิ่งแวดล้อม เช่น การนำอนุภาคเหล็กนาโน (nZVI particles) มาใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือปนเปื้อนสารเคมี (Jiamjitrpanich et al. 2009, Jiamjitrpanich et al. 2010, Jiamjitrpanich et al. 2012) รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมากๆ เช่น การจัดอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติพิเศษขึ้นไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ (Masciangioli and Zhang, 2003) อนุภาคของนาโนหลายชนิดที่ถูกนำมาใช้ในงานทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การนำอนุภาคเหล็กนาโน (nZVI particles) มาใช้ในการลดปริมาณสารไตรในโตรโทลูอีนในน้ำ (Jiamjitrpanich et al., 2009, Jiamjitrpanich et al., 2010, Jiamjitrpanich et al., 2012, Prashant et al. 2003, Welch, 2007)

นาโนซิงค์ออกไซด์ (nZnO) คือ อนุภาคขนาดนาโนของซิงค์ออกไซด์ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารเคมีที่มีความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง นาโนซิงค์ออกไซด์ได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนที่เป็นพิษในสิ่งแวดล้อม ดังนั้นโครงการวิจัยในครั้งนี้ จึงได้ประยุกต์การใช้นาโนซิงค์ออกไซด์มาบำบัดฟอร์มาลีนที่ใช้ในการดอง เก็บรักษาอวัยวะ หรือร่างอาจารย์ใหญ่ ซึ่งเตรียมจากฟอร์มาลีน 40 หรือ 40 % สารฟอร์มาลดีไฮด์ (v/v) ที่จำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดในถังขนาด 20-25 ลิตร ในแต่ละปีมีการใช้เป็นปริมาณที่มาก การนำนาโนซิงค์ออกไซด์ มาบำบัด เพื่อบำบัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ ลดความเป็นพิษ และเพื่อลดปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ ก่อนทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก

เพื่อการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์; Nano Zinc Oxide; nZnO) ในการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 4.0 % (10 % Formalin) ในน้ำ

วัตถุประสงค์รอง

4.1 เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำ

4.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด (Removal efficiency) และอัตราการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ของสารฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

4.3 เพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ในน้ำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดน้ำปนเปื้อนสารฟอร์มาลดีไฮด์เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory-scale) โดยการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกิดจากการเตรียมที่ความเข้มข้น 4.0 % ในตัวทำละลาย DI water โดยเตรียมจากสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 40 % (Formalin 40) นำมาบำบัด โดยทำปฏิกิริยาด้วยอนุภาคของนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งการวิจัยนี้จะแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ เพื่อประเมินและกำหนดกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ในการทำปฏิกิริยา แปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อกำหนดประสิทธิภาพการบำบัด (Removal efficiency) และ ศึกษาอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) รวมทั้งการทดลองภายใต้สภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง เพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. แก้ปัญหาในการดำเนินงานของหน่วยงานที่ทำการวิจัย : ทำให้เพิ่มศักยภาพในการผลิตผลงานวิจัยและพัฒนาศักยภาพของนักวิจัยที่มีอยู่
2. เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยต่อไป: ได้รับองค์ความรู้ใหม่ในการการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์; Nano Zinc Oxide; nZnO) ในการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์
3. บริการความรู้แก่ประชาชน: การเผยแผ่ผลงานวิจัยที่ได้จะเป็นการกระตุ้นให้ประชาชนเห็นความสำคัญและประโยชน์ของการเทคโนโลยีนาโนมาใช้ฟื้นฟูสภาพสิ่งแวดล้อม
4. เป็นประโยชน์ต่อประชากรกลุ่มเป้าหมาย: ทั้งนี้เพื่อความเป็นดีอยู่ดีและสุขภาพที่ดีของประชาชนอย่างยั่งยืน การเผยแผ่ผลงานวิจัยที่ได้และให้ความรู้แก่ประชาชนจะทำให้ประชาชนตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและการแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม
5. การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์; Nano Zinc Oxide; nZnO)ในการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับหน่วยงานต่างๆ เช่น มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล โรงงานอุตสาหกรรม สถาบันการศึกษา เป็นต้น
6. เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและป้องกันสุขภาพอนามัยของประชาชน นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและทำให้เกิดการพัฒนาทรัพยากรที่ยั่งยืน
7. เผยแพร่ในวารสารภายในประเทศและระดับนานาชาติ และช่วยให้ประเทศไทยมีแนวทางการพัฒนาการบำบัดและการปฏิบัติการแก้ไขน้ำที่ปนเปื้อนของสารเคมีอันตราย

บทที่ 2
วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Transmission Electron Microscopy (TEM) JEOL รุ่น JEM-2010
2. Scanning Electron Microscopy (SEM) JEOL รุ่น JCM-6010 LV
3. QuantaChome Autosorb analyzer รุ่น Autosorb I
4. X-ray Fluorescence Energy Dispersive Spectrometer รุ่น XGT-5200 (XRF)
5. Spectrometer Thermo Scientific รุ่น Genesys 20
6. Vortex mixer
7. Lux Meter: Didicon LX-50
8. Thermometer
9. pH meter: Index ID 1000
10. PTFE syringe filter (0.4 μm)
11. Volumetric flask
12. Beakers
13. Petri disks
14. Aluminum foil

สารเคมี

1. 10% Formalin (4% Formaldehyde)
2. Nano Zinc Oxide: nZnO: SIGMA-ALDRICH
3. DI water
4. Ammonium acetate
5. Acetic acid
6. Acetylacetone
7. Distilled water

วิธีดำเนินการวิจัย และวิธีวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) โดยการใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจากการเตรียมที่ความเข้มข้น 4.0% ใน DI Water นำมาบำบัด และทำปฏิกิริยาด้วยอนุภาคของนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งการวิจัยนี้จะแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ เพื่อประเมินและกำหนดกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ในการทำปฏิกิริยา แปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อกำหนดประสิทธิภาพการบำบัด (Removal efficiency) และ อัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) การทดลองภายใต้สภาวะที่มีแสงและไม่มีแสง เพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำ วิธีการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

1. การศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยบรรจุขวดขนาดน้ำหนัก 10 กรัม ของบริษัท SIGMA-ALDRICH คุณลักษณะที่ทำการศึกษาได้แก่

1.1.ลักษณะรูปร่างของอนุภาคนาโนทั้งภาคตัดขวางและสามมิติ โดยการตรวจสอบด้วย Transmission Electron Microscopy (TEM) JEOL รุ่น JEM-2010 และ Scanning Electron Microscopy (SEM) JEOL รุ่น JCM-6010 LV

1.2.ศึกษาพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโน โดยศึกษาพื้นที่ผิว BET surface area ด้วยเครื่อง QuantaChome Autosorb analyzer รุ่น Autosorb I

1.3.ศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคนาโน โดยตรวจวัดด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Energy Dispersive Spectrometer รุ่น XGT-5200 (XRF)

2. การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

การเตรียมน้ำปนเปื้อนสารฟอร์มาลีน โดยเตรียมจากสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นตั้งต้น 40 % (Formalin 40) สารละลายฟอร์มาดีไฮด์ เตรียมโดยการใช้ สารมาตรฐานของสารฟอร์มาดีไฮด์ เตรียมให้ได้ Stock Standard 1,000 mg/L (ppm) โดยใช้น้ำ DI Water เป็นตัวทำละลาย เพื่อใช้ในการเตรียมให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการในการทำกราฟมาตรฐานโดยให้มีความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ที่ 0, 1, 10, 30, 50 และ 100 ppm Formaldehyde และ Stock solution สำหรับการทดลองการบำบัด สารฟอร์มาดีไฮด์ ความเข้นข้นที่ใช้จะอยู่ในช่วงกราฟมาตรฐาน ช่วงความเข็มข้นที่เหมาะสมที่ 100 ppm ของสารฟอร์มาดีไฮด์ จะถูกใช้เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ที่ใช้ในการทดลองต่อไป โดยวิธี Spectrophotometry ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

การสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานฟอร์มาลดีไฮด์ โดยการนำสารละลายสารฟอร์มาลดีไฮด์ สารละลายมาตรฐาน 1,000 ppm เพื่อเตรียมสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 30, 50 และ 100 ppm แล้วดำเนินการดังนี้

1. นำสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความเข้มขันต่างๆ มา 4 ml ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติม Nash’s reagent 2 ml ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด
3. นำไปอุ่นใน water bath ที่ 37 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น
4. นำไปวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 413 นาโนเมตร
5. นำค่าการดูดกลืนแสง (OD) และค่าความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ไปเขียนกราฟ โดยให้ค่า OD อยู่แกน Y และความเข้มข้นอยู่แกน X

วิธีเตรียมสาร Nash’s reagent ประกอบด้วย

1. Ammonium acetate	15 g
2. Acetic acid	0.3 ml
3. Acetylacetone	0.2 ml
4. Distilled water	100 ml

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพและกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยา (Degradation) กับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ

การกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosage) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดย การแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 500, 1,000 และ 2,000 mg/L หรือ ppm ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำเป็นระยะเวลา 60 นาที ในขณะที่ตัวอย่างควบคุม (Controls) จะไม่เติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยเติมลงในภาชนะ Petri disk เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการกรองสารละลายด้วย PTFE syringe filter หลักจากนั้นวัดปริมาณสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เหลือหลังจากการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อหาค่า O.D แล้วนำมาคำนวณแปลงเป็นความเข้มข้นจากการเทียบกราฟมาตรฐาน ปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสม (Optimum dosage) เพื่อใช้ค่าปริมาณดังกล่าวในการทดลองต่อไป ผลการทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ การทดลองในขั้นนี้ดำเนินการโดยการทำปฏิกริยาภายใต้สภาวะไร้แสงแดด และสภาวะมีแสงแดด โดยภาวะไร้แสงจะทำการห่อหุ้มภาชนะด้วยกระดาษฟอยล์ (Aluminum foil) และทำปฏิกริยาภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน

ผลการทดลองแสดงในรูปแผนภูมิ เป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean and SD) โดยนำเสนอในรูปของ Degradation rate และ Removal efficiency

2.2 กำหนดอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ของสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ในน้ำโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เพื่อศึกษา Optimum time ในรูปของ Degradation rate และศึกษาอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ที่เหมาะสม ปริมาณอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ ความเข้มข้น 1,000 ppm ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ในน้ำปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาดีไฮด์เป็นระยะเวลาที่แตกต่างกันในสภาวะไร้แสงและสภาวะสัมผัสแสง การทดลองเริ่มต้นด้วยเติมน้ำปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ 100 mg/L ลงในภาชนะ Petri disk หลังจากนั้นเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อให้ได้ความเข้มข้น 1,000 ppm แล้วเขย่าเบาๆ ในในสภาวะไร้แสงและสภาวะมีแสงแดด เป็นระยะเวลา 0, 30, 60 และ 90 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทำการกรองสารละลายด้วย PTFE syringe filter หลักจากนั้นวัดความเข้มข้นสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เหลือหลังจากการทำปฏิกิริยาด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อหาค่า O.D. และนำมาคำนวนตามสมการที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ผลการทดลองดำเนินการ 3 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน

ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean and SD) และแสดงในรูปแผนภูมิเป็นค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean and SD) โดยนำเสนอในรูปของ Degradation rate และ Removal efficiency สำหรับอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) แสดงในรูปแผนภูมิ -ln(Ce/Co)

บทที่ 3
ผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดน้ำปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory-scale) โดยการใช้น้ำปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ นำมาบำบัดและทำปฏิกิริยาด้วยอนุภาคของนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งการวิจัยนี้จะแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ เพื่อประเมินและกำหนดกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosage) ในการทำปฏิกิริยา แปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อกำหนดอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และ อัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) การทดลองภายใต้สภาวะที่มีแสงและไม่มีแสงเพื่อศึกษาความสามารถในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการย่อยสลายสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ในน้ำ

จัดเตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่ใช้ในการดำเนินการศึกษางานวิจัยการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยี (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์, Nano Zinc Oxide, nZnO) ในการบำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde)

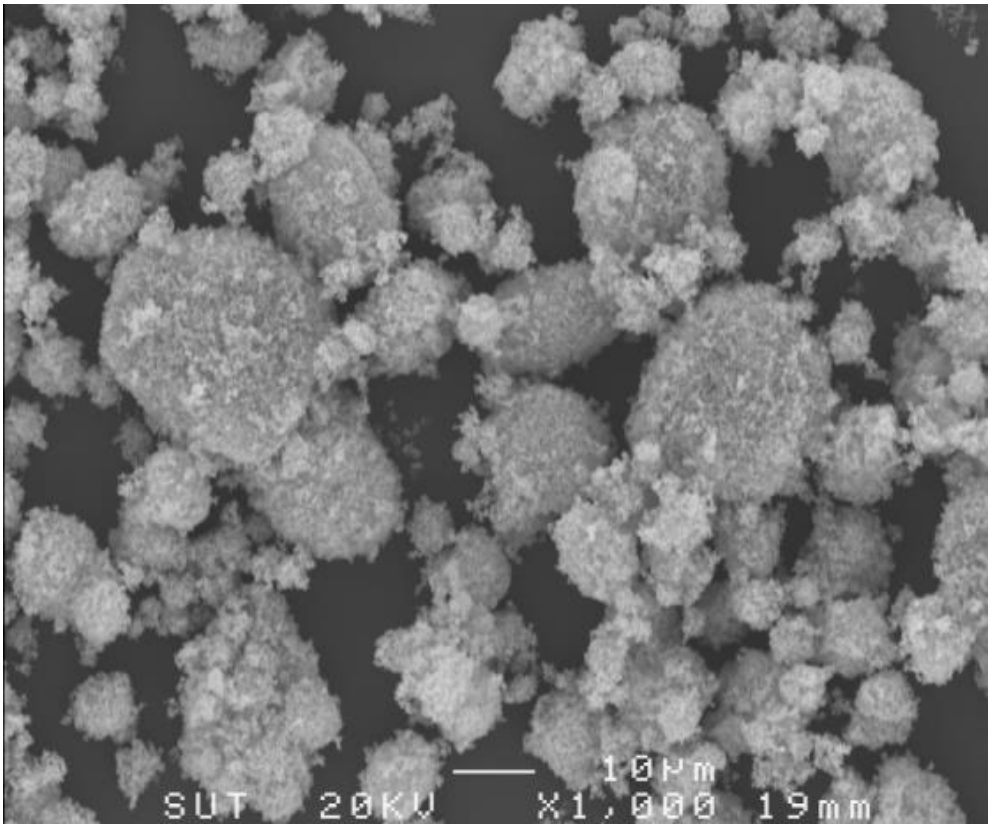
จัดเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อเป็นการยืนยันว่าอนุภาคของซิงค์ออกไซด์มีขนาดของอนุภาคอยู่ในขนาดนาโนสเกล ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

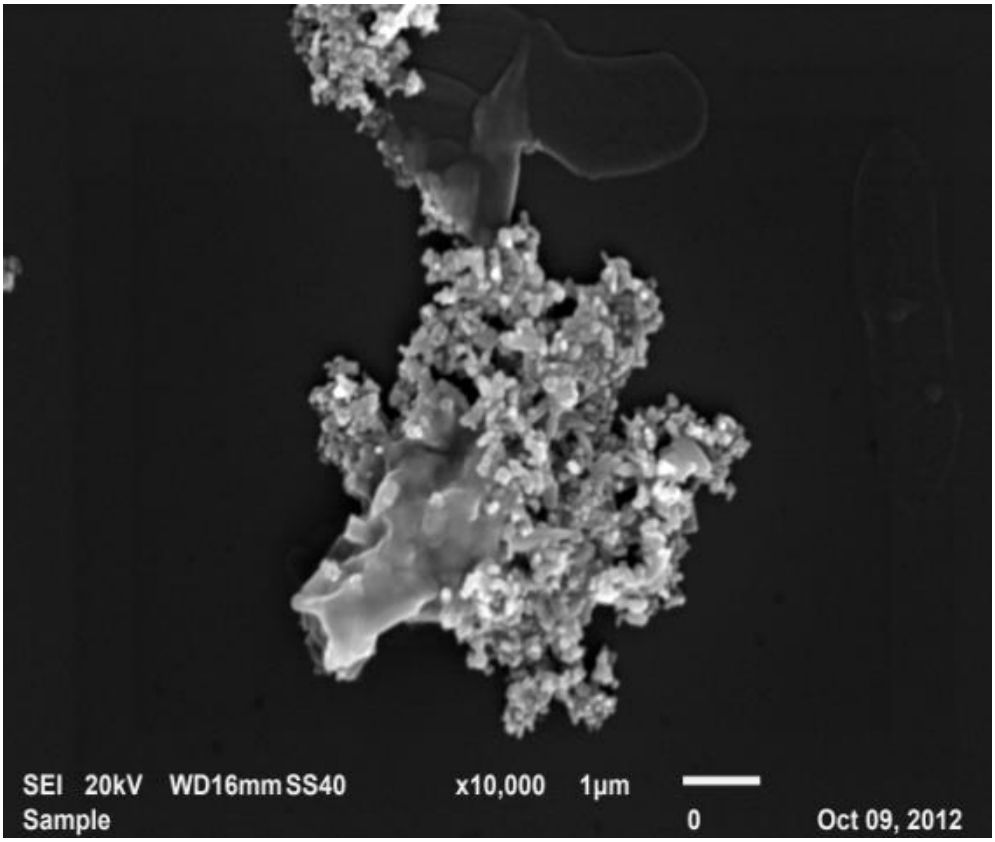
คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่จะนำมาใช้ในการวิจัยเป็นลักษณะผงสีขาวละเอียด คุณลักษณะที่ทำการศึกษาได้แก่

1.1 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคนาโนทั้งภาคตัดขวางและสามมิติ โดยการตรวจสอบด้วย Transmission Electron Microscopy (TEM) และ Scanning Electron Microscopy (SEM)

ผลการศึกษาจากภาพถ่ายด้วยเครื่อง SEM พบว่า อนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร แต่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดต่างๆ กัน อาจมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 10 ไมครอน ส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 5-10 ไมครอน (ดังภาพที่ 5) ผลการศึกษาจากภาพถ่ายด้วยเครื่อง TEM ได้ผลในลักษณะเดียวกันพบว่า อนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร แต่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดต่างๆ กัน ขนาดอนุภาคมีความหลากหลาย แต่โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-80 นาโนเมตร (ดังภาพที่ 6) และจากภาพ TEM แสดงให้เห็นลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความหลากหลายในรูปร่างเช่นกันโดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงเหลี่ยม เช่น แปดเหลี่ยม หกเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ทรงกระบอก และทรงแคปซูล

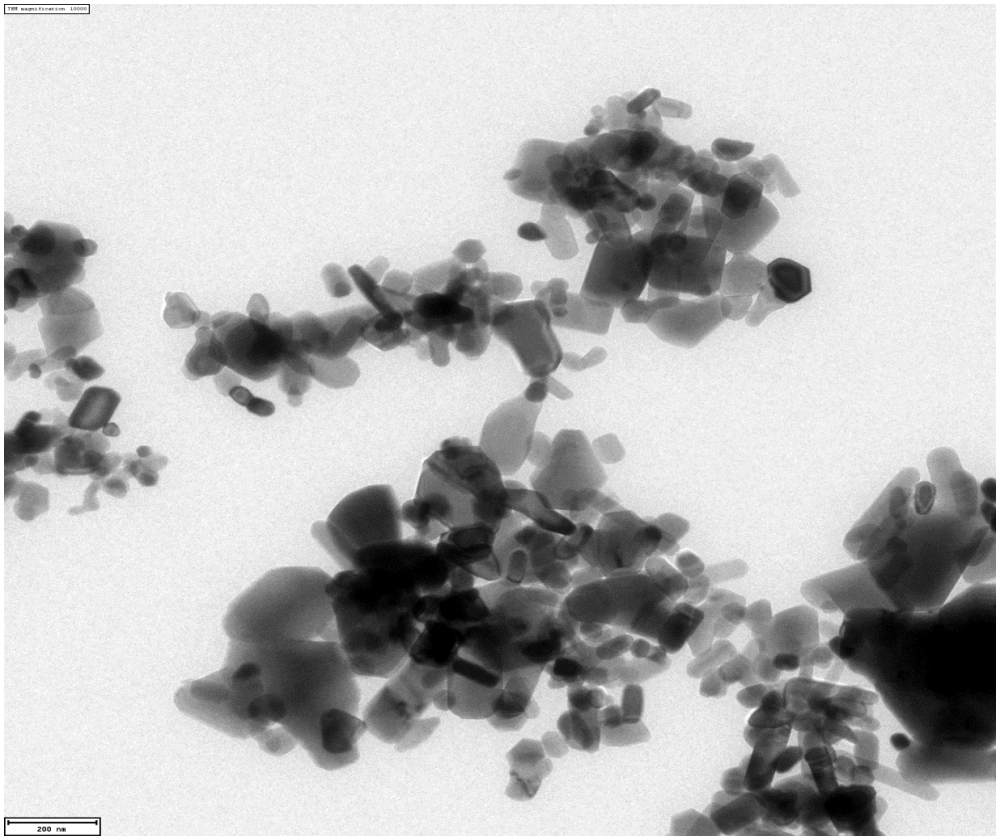


(ก)

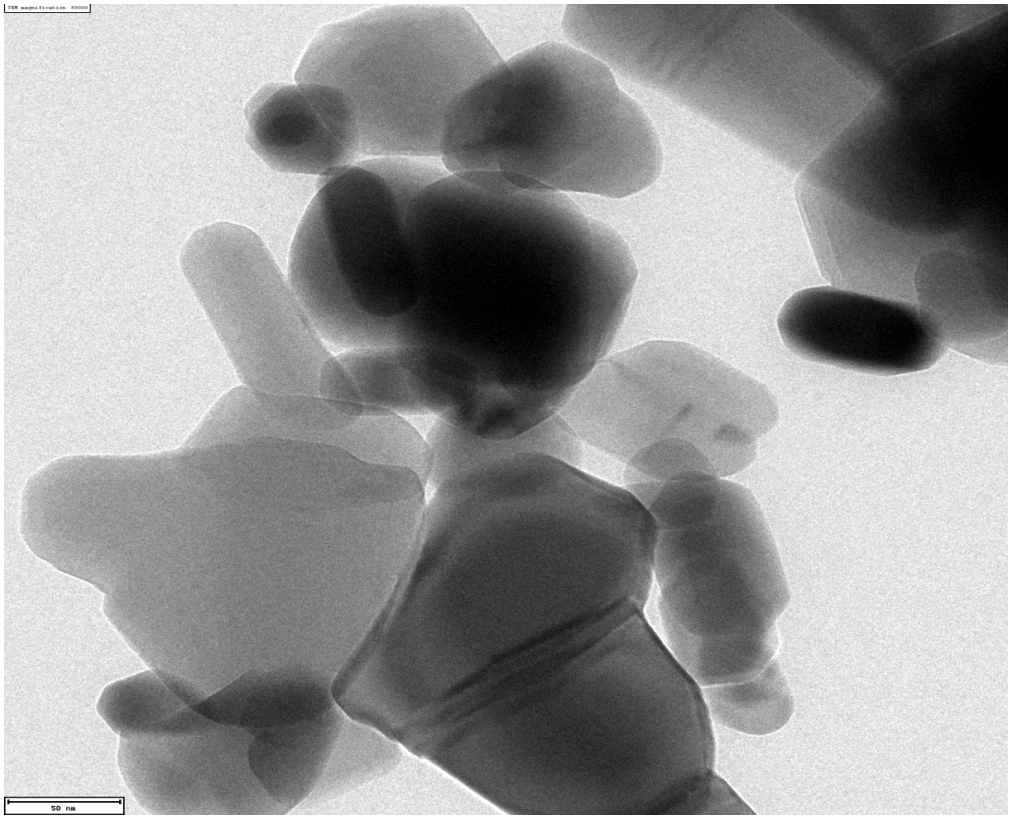


(ข)

ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างและขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM (ก) กำลังขยาย x 1,000 (ข) กำลังขยาย x 10,000



(ก)



(ข)

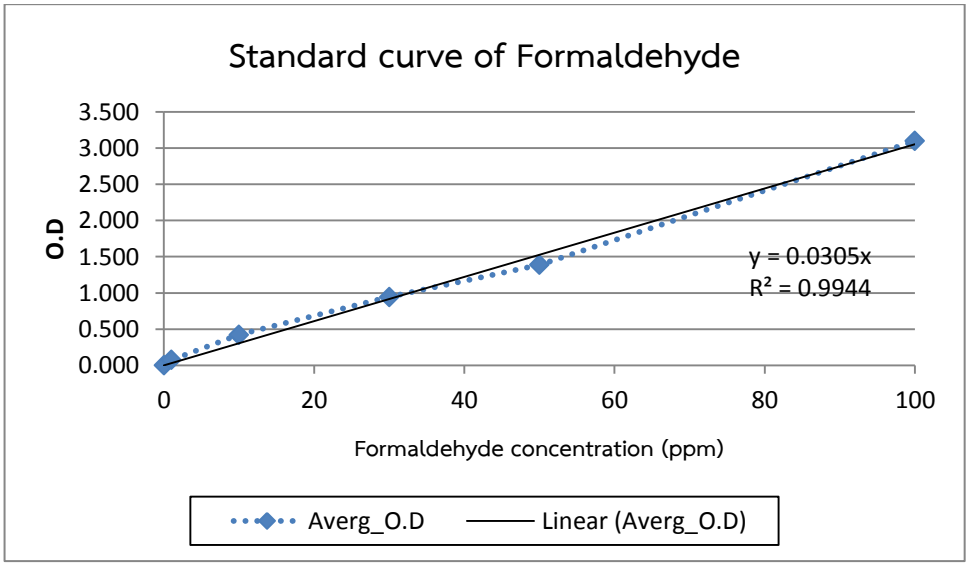
ภาพที่ 3 ลักษณะรูปร่างและขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เครื่อง TEM (ก) กำลังขยาย x 10,000 (ข) กำลังขยาย x 50,000

1.2 ศึกษาพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโน โดยศึกษาพื้นที่ผิว BET surface area ผลการวัดพื้นที่ผิวของ อนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่ามีค่าเฉลี่ย 9.56±0.04 m^2/g

1.3 ศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคนาโน โดยตรวจวัดด้วยเครื่อง X-ray Diffractometor (XRD) ผลการตรวจวัดพบว่า อนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์มีความบริสุทธิ์ถึง 99.98%

2. การศึกษาประสิทธิภาพอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ต่อการบำบัดสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์

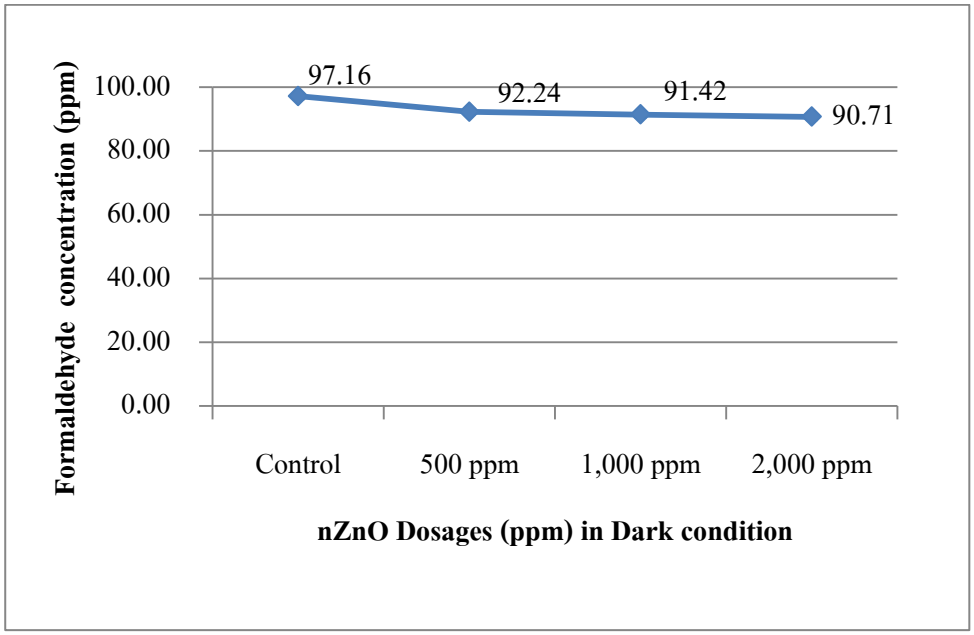
การเตรียมน้ำตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เตรียมโดยการใช้ สารมาตรฐานของสารสารฟอร์มาลดีไฮด์ มาเตรียมให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ คือ 100 ppm โดยเตรียมจาก Stock Standard 1,000 ppm เพื่อใช้เป็นตัวอย่างน้ำปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ผลของกราฟมาตรฐานแสดงในภาพที่ 4 เพื่อใช้ในการหาความเข้มข้นของสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ต่อไป



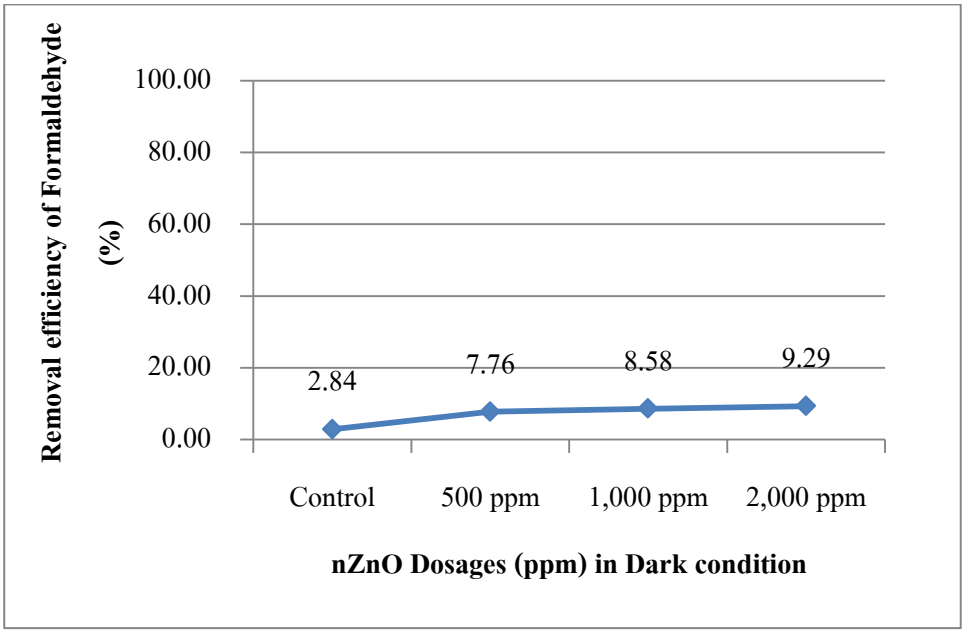
ภาพที่ 4 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายฟอร์มาดีไฮด์

2.1 การศึกษาประสิทธิภาพ และกำหนดปริมาณที่เหมาะสม

การศึกษาประสิทธิภาพและกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ โดยใช้ระยะเวลา (Incubation time) 1 ชั่วโมง การกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ของอนุภาคนาโนโดย การแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ และตรวจวัดปริมาณสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ที่เหลือ ค่าปริมาณของอนุภาคนาโนที่สามารถบำบัดสารสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ได้มาก ในเวลาและสภาวะแวดล้อมเดียวกัน คือ ค่าปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 5 ในสภาวะที่ไม่มีแสงแดด และภาพที่ 6 ในสภาวะที่มีแสงแดด

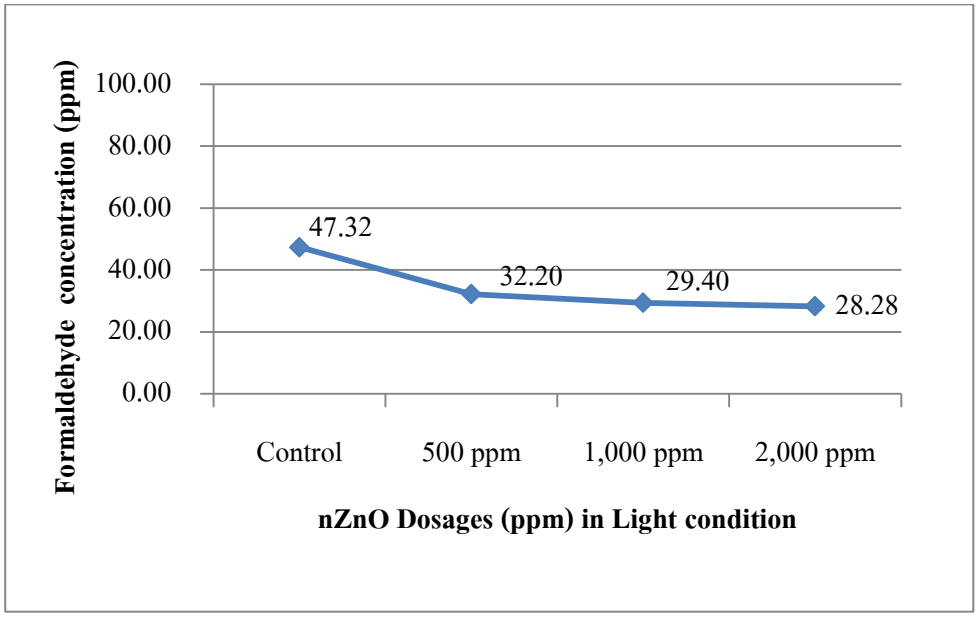


(ก)

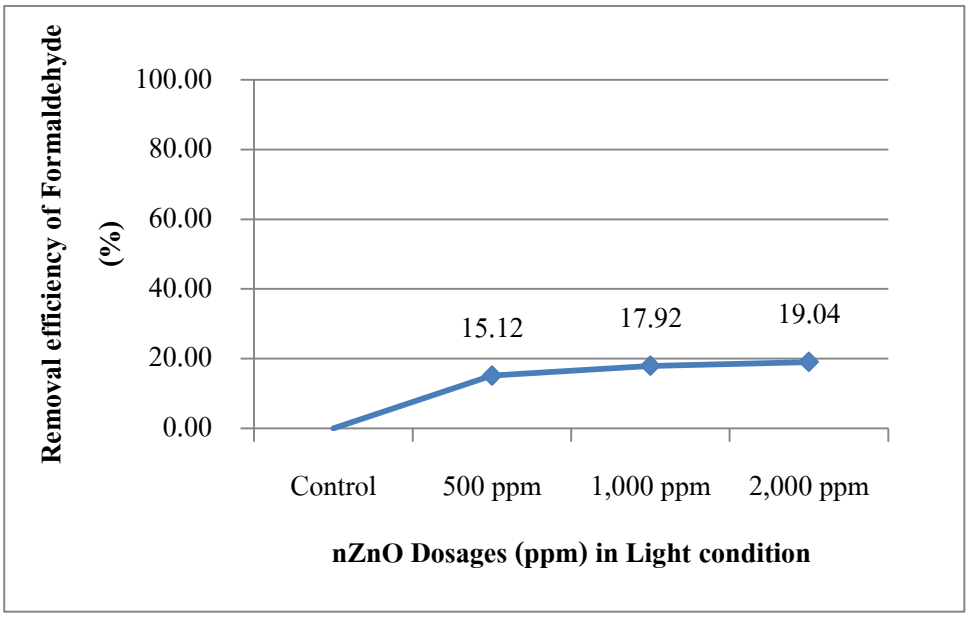


(ข)

ภาพที่ 5 แสดงผลปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ ในการทดลองในสภาวะไม่มีแสงแดด ของ Optimum dosage (ก) และ Removal efficiency (%) (ข)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 แสดงผลปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ ในการทดลองในสภาวะที่มีแสงแดด ของ Optimum dosage (ก) และ Removal efficiency (%) (ข)

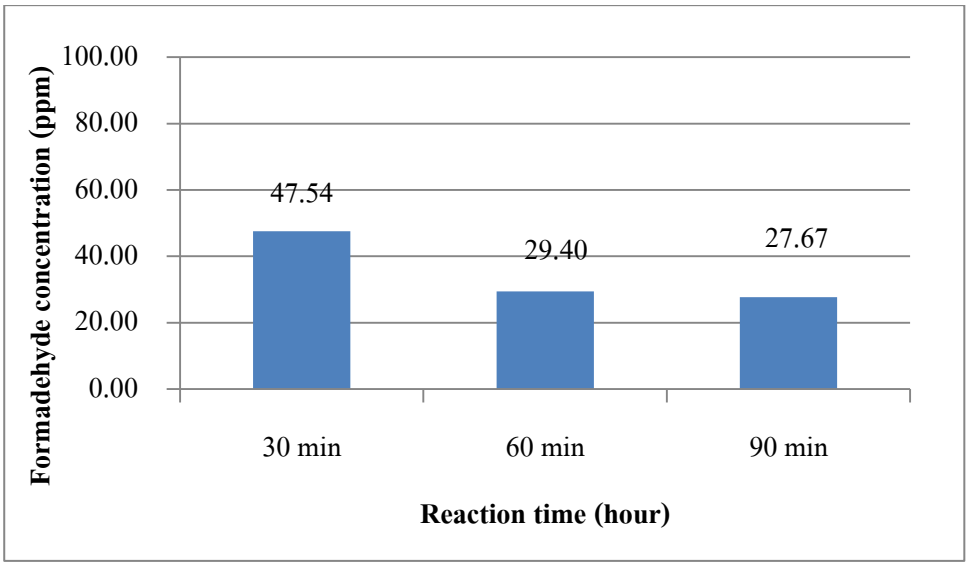
จากผลการศึกษา Optimum dosage และ Removal efficiency (%) แสดงในภาพที่ 5 เป็นการทดลองโดยไม่มีแสงแดด พบว่า ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ค่อยข้างต่ำ น้อยกว่า 10 % ของ Removal efficiency ทุกความเข้มข้นของนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 7.76, 8.58 และ 9.29 ตามลำดับ (500, 1,000 และ 2,000 ppm) ในขณะที่การทดลองโดยใช้แสงแดดเป็นตัว Photocatalyst ผลของ Removal efficiency แสดงในภาพที่ 6 ได้เพิ่มขึ้นเป็น 15.12, 17.92 และ 19.04 ตามลำดับ ถ้าต้องการเพิ่ม Removal efficiency อาจต้องเพิ่มปริมาณ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มากกว่า 2,000 ppm ซึ่งอาจจะมากเกินไป ไม่คุ้มค่าในการลงทุน จากผลจะสังเกตได้ว่าในชุดควบคุม (Controls) ที่ระยะเวลา 1 ชั่วโมง

สารฟอร์มาดีไฮด์มีความเข็มข้นลดลง (47.32%) เมื่อเทียบกับความเข็มข้นที่เตรียมตอนเริ่มต้นจาก Stock 100 ppm ในการทดลองที่ใช้แสงแดด

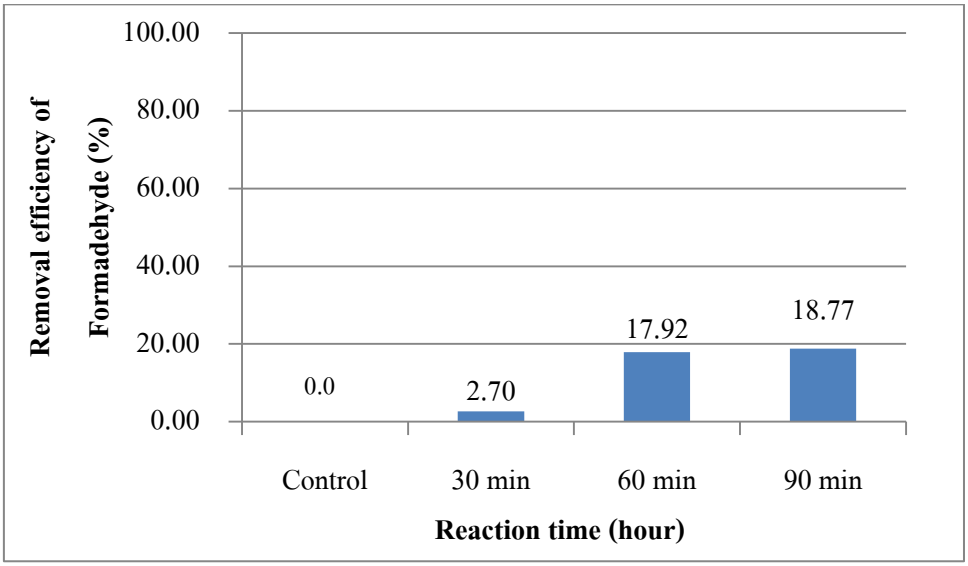
ในการทดลองเพื่อศึกษาอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาลดีไฮด์ จึงเลือกใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 1,000 ppm และเป็นการทดลองที่มีแสงแดดเป็นตัว Photocatalyst

2.2 การศึกษาอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ของสารไตรไนโตรโทลูอีนในน้ำโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

การศึกษาอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) ของสารฟอร์มาดีไฮด์ในน้ำโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยเลือกใช้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่ 1,000 ppm ในการศึกษาการบำบัด โดยจะมีการแปรผันของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนและสารฟอร์มาดีไฮด์ โดยศึกษาระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 30, 60 และ 90 นาที โดยทดลองที่ใช้แสงแดดเป็น Photocatalyst ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 7



(ก)



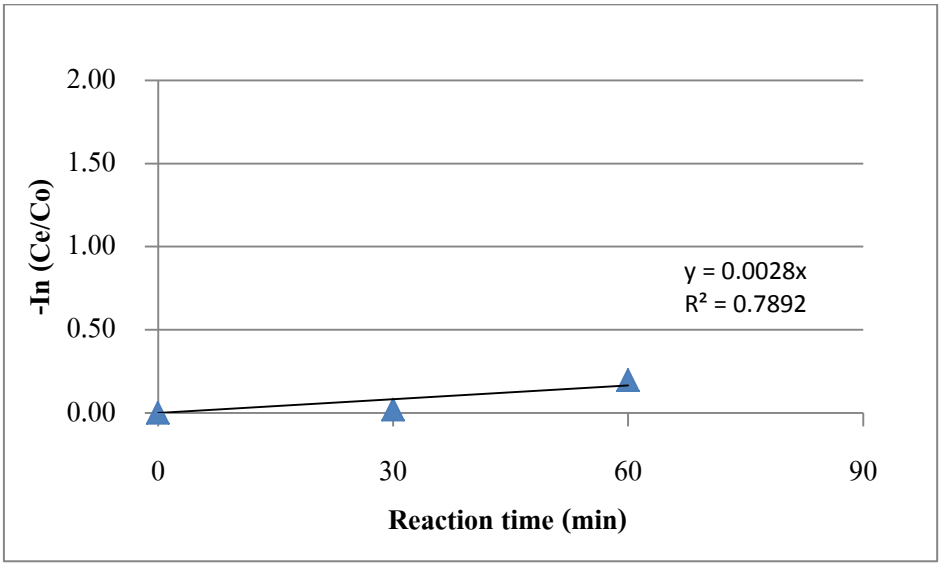
(ข)

ภาพที่ 7 แสดงอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) (ก) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) (ข)

จากผลการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ แปรผันกับเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยมี Removal efficiency สูงสุดที่ระยะเวลา 90 นาที ที่ 18.77 % ซึ่งอาจถือได้ว่าไม่สูงมาก และใกล้เคียงกับผลของระยะเวลา 60 นาที (17.92 %) อาจต้องเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่า 90 นาที ซึ่งอาจจะนานเกินไป และ อาจถือได้ว่ามีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากการใช้เวลานานในการบำบัด เมื่อเทียบกับการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ด้วยวิธีอื่นที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 90% (Qaderi et al. 2011)

Reaction time (min)	Influent (Co)	Effluent (Ce)	Ce/Co	-ln(Ce/Co)
Start	100.00	100.00	1.0000	0.0000
30	100.00	98.04	0.9804	00198
60	100.00	82.08	0.8208	0.1975
90	100.00	80.35	0.8035	0.2188

ตารางที่ 1 แสดงผลของ Kinetic removal rate of formaldehyde removal



ภาพที่ 8 แสดงผล Kinetic removal rate of formaldehyde removal (สมการ -ln(Ce/Co)=kT)

จากผลการศึกษา Optimum time and Removal efficiency (%) สามารถนำมาหาค่า Kinetic removal rate of formaldehyde removal ได้จาก สมการ -ln(Ce/Co)=kT จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 8 พบว่าค่า Kinetic removal rate (k) = 0.0028 min^{-1}

บทที่ 4
บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดน้ำสารละลายฟอร์มาดีไฮด์ การเตรียมน้ำตัวอย่างที่ปนเปื้อนสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ เตรียมโดยการใช้ สารมาตรฐานของสารสารฟอร์มาลดีไฮด์ มาเตรียมให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการ คือ 100 mg/L โดยเตรียมจาก Stock Standard 1,000 mg/L วัตถุประสงค์ในการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ในการทำบำบัด แปรผันระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา เพื่อกำหนดอัตราการย่อยสลาย (Degradation rate or Removal efficiency) และ อัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) โดยทดลองในสภาวะที่ไม่มี และมีแสงแดด

ผลการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอน พบว่า อนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์ที่นำมาใช้มีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร ขนาดและรูปร่างของอนุภาคมีความหลากหลาย แต่โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40-80 นาโนเมตร บางครั้งรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดต่างๆ กัน อาจมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 10 ไมครอน ผลการวัดพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนของนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่ามีค่าเฉลี่ย 9.56 ± 0.04 m^2/g และมีความบริสุทธิ์ถึง 99.98%

การศึกษาประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์การบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ การศึกษาดำเนินการโดยเติมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ทิ้งไว้ในระยะเวลาที่ต้องการ หลังจากนั้นวัดปริมาณสารฟอร์มาดีไฮด์ที่เหลือ โดยใช้วิธีทาง Spectrophotometry

การศึกษาประสิทธิภาพ และกำหนดปริมาณที่เหมาะสม (Optimum dosages) ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ โดยการแปรผันปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ความเข็มข้น 500, 1,000 และ 2,000 ppm ใช้ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ เป็นระยะเวลา 60 นาที หลักจากนั้นตรวจสอบปริมาณฟอร์มาดีไฮด์ที่เหลือหลังทำปฏิกิริยา เพื่อหาค่าปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เหมาะสม (Optimum dosage) เพื่อใช้ค่าปริมาณดังกล่าวในการทดลองต่อไป

จากผลการศึกษา Optimum time ในรูปของ Degradation rate และ Removal efficiency (%) และอัตราการการกำจัดเคลื่อนที่ (Kinetic Removal Rate) โดยการใช้ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Optimum dosage) มาใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยจะมีการแปรผันของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที

ผลการศึกษาในสภาวะไม่มีแสงแดด พบว่า ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ค่อนข้างต่ำ น้อยกว่า10% ของ Removal efficiency ทุกความเข้มข้นของนาโนซิงต์ออกไซด์ที่ 7.76, 8.58 และ 9.29 ตามลำดับ (500, 1,000 และ 2,000 ppm) ในขณะที่การทดลองโดยใช้แสงแดดเป็นตัว Photocatalyst ผลของ Removal efficiency ได้เพิ่มขึ้นเป็น 15.12, 17.92 และ 19.04 ตามลำดับ

จากผลการศึกษา Optimum time ในสภาวะที่มีแสงแดด โดยมี Removal efficiency สูงสุดที่ระยะเวลา 90 นาที ที่ 18.77 % ซึ่งอาจถือได้ว่าไม่สูงมาก และใกล้เคียงกับผลของระยะเวลา 60 นาที (17.92 %) อาจต้องเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยานานกว่า 90 นาที ซึ่งอาจจะนานเกินไป จากการศึกษาในครั้งนี้สรุปได้ว่าการใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยา กับสารไตรไนโตรโทลูอีนที่ปนเปื้อนในน้ำอาจมีประสิทธิภาพไม่สูงมาก แต่หากใช้แสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Photocatalyst) ในการทำปฏิกิริยาสามารถเพิ่ม Removal efficiency ได้ถึง 71.93 %

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการเพิ่มประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ ดังนี้

1. ควรมีการศึกษาผลของความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้นต่อประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ
2. ควรมีการศึกษาถึงผลของแสง Ultraviolet โดยใช้หลอดกำเนิดแสง Ultraviolet ต่อประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ
3. ควรมีการศึกษาถึงผลของ Catalysts หรือ สารเคมีอื่นๆ เช่น NaOH, KCl, NaCl เป็นต้น ต่อประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการบำบัดสารฟอร์มาดีไฮด์ที่ปนเปื้อนในน้ำ

บรรณานุกรม

Abdullah M., Shibamoto S. and Okuyama K. (2004). Synthesis of ZnO/SiO_2 nanocomposites emitting specific Luminescence color. *Optical Materials* 26, 95-100.

Baraka, A., Hall, P.J., Heslop, M.J., (2007). Preparation and characterization of melamine-formaldehyde-DTPA chelating resin and its use as an adsorbent for heavy metals removal from wastewater, Journal of Reactive & Functional Polymers; **67**: 585-600.

El-Shall M.S., Graiver D. and Pernisz U. (1995). Synthesis and characterization of nanoscale zinc oxide particles: I. Laser vaporization/condensation technique. *NanoStruetured Materials* 6, 297-300.

Fouad O.A., Ismail A.A., Zaki Z.I. and Mohamed R.M. (2006). Zinc oxide thin films prepared by thermal evaporation deposition and its photocatalytic activity. *Applied Catalysis B: Environmental* 62, 144-149.

Herrera Melian, A. Ortega Mendez, J. Arana, O. Gonzalez Dıaz, E. Tello Rendon (2008), Degradation and detoxification of formalin wastewater with aerated biological filters and wetland reactors, Process Biochemistry 43 (2008) 1432–1435

Jiamjitrpanich, W., Polprasert, C., Parkpian, P., Delaune, R.D. and Jugsujinda, A. (2010). Environmental factors influencing remediation of TNT-conminated water and soil with nanoscale zero-valent iron particles. Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous substances and Environmental engineering, 45(3), 263-274.

Jiamjitrpanich, W., Polprasert, C., and Parkpian, P. (2009). Risk management program and technology application of hazardous substances at Chulachomklao Royal Military Academy (CRMA) and Military bases: In case of trinitrotoluene (TNT). CRMA Annual Conference 2009. Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok, Thailand.

Jiamjitrpanich, W., Parkpian, P., Polprasert, C., Laurent F. and Kosanlavit, R., (2012) The tolerance efficiency of *Panicum maximum* and *Helianthus annuus* in TNT-contaminated soil and nZVI-contaminated soil. *Journal of Environmental Science and Health Part A*: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. (47), 1506-1513.

Kumar, P.A., Ray, M., Chakraborty, S., (2007). Hexavalent chromium removal from wastewater using aniline formaldehyde condensate coated silica gel, J HazardMater; **143**: 24-32.

Masciangioli T. and Zhang W.X. (2003). Environmental technologies at the Nanoscale. *Environmental Science & Technology*, March 1, 102-108.

Prashant V. Kamat and Dan Meisel (2003) Nanoscience opportunities in environmental remediation, C. R. Chimie (6), 999–1007

Qaderi, B. Ayati, H. Ganjidoust (2011) Role of moving bed biofilm reactor and sequencing batch reactor in biological degradation of formaldehyde wastewater, *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng*., 2011, Vol. 8, No. 4, pp. 295-306

Spanhel L. and Anderson M.A. (1991). New route to prepare ultrafine ZnO particles and its reaction mechanism. *J. Am. Chem. Soc.* 113, 2826.

Tejado, A., Pena, C., Labidi, J., Echeverria, J.M., Mondragon, I., (2007). Physico-chemical characterization of lignin from different sources for use in phenol, Formaldehyde Resin Synthesis; **98**: 1655-1663.

Welch R.E. (2007). Reduction of 2,4,6-Trinitrotoluene with nanoscale zero valent iron. The Russ Collge of Engineering and Technology, Ohio University. Ohio.

Yadollah Abdollahi, Abdul Halim Abdullah, Zulkarnain Zainal and Nor Azah Yusof, (2012) Photocatalytic Degradation of *p*-Cresol by Zinc Oxide under UV Irradiation, *Int. J. Mol. Sci.* 13, 302-315.

Zeng Z., Qi C., Chen Q., Li K and Chen L (2014) Absorption and metabolism of formaldehyde in solutions by detached banana leaves, *J Biosci Bioeng*; 117(5): 602-612.

โครงการกำจัดสารฟอร์มาลิน, คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล, มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552.
http://www1.si.mahidol.ac.th/km/sites/default/files/2552_159.pdf (Accessed on 11 August 2013)