

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สาเหตุหนึ่งของการเกิดปัญหามลพิษทางน้ำในปัจจุบันคือการปล่อยสารเคมีที่มีพิษลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่ได้ผ่านการบำบัดที่เหมาะสม โดยเฉพาะสารอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ สารอนุพันธ์ของเบนซีน สารกลุ่มอะลิฟาติก สารกลุ่มฟีนอล สารกลุ่มคลอโรไฮโดรคาร์บอน สารเคมีที่มีการใช้มากตัวหนึ่งในอุตสาหกรรม ได้แก่ โทลูอิน (Toluene) ซึ่งเป็นสารเคมีในกลุ่ม BTEX (Benzene-Toluene-Ethylbenzene-Xylene) โดยในสารกลุ่ม BTEX โทลูอินมีความเป็นพิษสูงสุดและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงงานผลิตสารเคมีหลายชนิด เช่น เบนซาลดีไฮด์ เบนซิลแอลกอฮอล์ กรดเบนโซอิก และสารอนุพันธ์ของคลอไรด์ (Marcí *et al.*, 2003) นอกจากนี้ยังมีการใช้โทลูอินปริมาณมากสำหรับผลิตภัณฑ์พลาสติก ยา วัตถุระเบิด สี ฟิล์ม โฟมพอลิยูรีเทน รวมทั้งเป็นสารผสมในน้ำมันเชื้อเพลิง

นอกจากในทางอุตสาหกรรมแล้วยังมีการใช้โทลูอินในห้องปฏิบัติการทางเคมี ยาง และพอลิเมอร์ ซึ่งการใช้งานดังกล่าวทำให้เกิดของเสียโทลูอินรวมทั้งการปนเปื้อนโทลูอินในน้ำทิ้งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโทลูอินเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ทั้งแบบเรื้อรังและเฉียบพลัน ตัวอย่างเช่น หากมนุษย์ได้รับโทลูอินจะมีอาการง่วง ปวดหัว หนอง ชิม สับสน คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนแรง อาจหมดสติ และมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อหนูได้รับโทลูอินทางปากพบว่ามีความ LD₅₀ เท่ากับ 636 mg.kg⁻¹ (MSDS, 2006)

การใช้โทลูอินส่วนใหญ่ในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เกิดจากปฏิบัติการทางเคมี พอลิเมอร์และยาง ซึ่งจากปฏิบัติการทางเคมีโดยเฉพาะปฏิบัติการการสกัดสารเคมีระดับกึ่งอุตสาหกรรมทำให้เกิดของเสียโทลูอินสองส่วน คือ ของเสียโทลูอินความเข้มข้นสูงจากปฏิบัติการโดยตรงและน้ำทิ้งที่ปนเปื้อนโทลูอินจากระบบการล้างระบบ ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยเครื่องวิเคราะห์โครมาโตกราฟฟีของเหลวสมรรถนะสูงพบว่าของเสียจากปฏิบัติการโดยตรงมีโทลูอินร้อยละ 83.8 โดยปริมาตร ซึ่งโทลูอินในของเสียชนิดนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเนื่องจากสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ในน้ำทิ้งจากระบบการล้างระบบที่ปล่อยลงสู่บ่อพักน้ำทิ้งวิเคราะห์พบการปนเปื้อนของโทลูอิน ประมาณ 104.4 mg.L⁻¹ ซึ่งเป็นระดับที่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการบำบัดน้ำทิ้งที่มีการปนเปื้อนโทลูอินจึงมีความจำเป็นมากเพื่อลดปริมาณโทลูอินในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการ

ที่ผ่านมาวิธีการบำบัดโทลูอินและสารอินทรีย์ที่น่าสนใจหลายวิธี เช่น วิธีการสลายตัวทางชีววิทยา (Biodegradation) (Cox and Deshusses, 2000; Hamed *et al.*, 2004; Ilyin *et al.*, 2004; Ying *et al.*, 2005) วิธีการฉายลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam irradiation) (Kurucz *et al.*,

1994; Kurucz *et al.*, 2002; Duarte *et al.*, 2004) วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) (Simonic and Ozim, 1998) และวิธีการดูดซับด้วยวัสดุสังเคราะห์ (Synthetic material adsorption) (Bratek *et al.*, 2002; Hamdi *et al.*, 2004)

วิธีการบำบัดและสลายสารมลพิษกลุ่มสารอินทรีย์หลายวิธีดังกล่าวมักมีข้อจำกัด เช่น ไม่สามารถใช้กับสารพิษที่มีความเข้มข้นสูง ความยุ่งยากในการควบคุมสภาวะการบำบัด ความปลอดภัยของวิธีการ หรือเรื่องงบประมาณที่สูง แต่ในปัจจุบันวิธีการบำบัดสารมลพิษกลุ่มสารอินทรีย์ที่นิยมและมีการศึกษาอย่างกว้างขวางได้แก่ การออกซิไดส์สารอินทรีย์โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับแสง (Photocatalytic Oxidation, PCO) โดยเฉพาะการใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น TiO_2 , ZnO , MgO , WO_3 , Fe_2O_3 และ CdS เนื่องจากการใช้สารกึ่งตัวนำในกระบวนการ PCO ให้ประสิทธิภาพสูงในการสลายสารอินทรีย์ ทำได้ที่อุณหภูมิห้องและความดันปกติ สามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ สามารถหยุดปฏิกิริยาได้โดยการปิดแหล่งแสง ทำให้ควบคุมระบบได้ง่าย และต้นทุนของกระบวนการบำบัดไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับวิธีการสลายสารอินทรีย์แบบอื่นๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการ PCO ที่นิยมใช้ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) หรือ ไทเทเนีย (Titania) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ให้ประสิทธิภาพสูง มีรูปผลึก 3 แบบ คือ แอนาเทส (Anatase) รูไทล์ (Rutile) และบรูไคท์ (Brookite) โดยรูปผลึกที่นิยมใช้และมีประสิทธิภาพในการสลายสารอินทรีย์สูงคือแอนาเทส และรูไทล์มีประสิทธิภาพรองลงมา (Zhang, 2005; Kim *et al.*, 2008) ทั้งนี้ไทเทเนียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากึ่งตัวนำชนิดโลหะออกไซด์ (Metal oxide semiconductor) ที่มีประสิทธิภาพดีเยี่ยมในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ร่วมกับแสงยูวี สามารถบำบัดมลพิษจากสารอินทรีย์หลายชนิด รวมทั้งราคาไม่แพงเมื่อเทียบกับโลหะออกไซด์อื่น ซึ่งกระบวนการสลายโทลูอินในระบบของแข็ง-ของเหลว (Solid-liquid system) ด้วยผงไทเทเนียร่วมกับแสงสามารถทำได้หลายรูปแบบ โดยรูปแบบที่นิยมที่สุดมี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบสารละลายแขวนลอย (Suspended solution) (Pernyeszi and Dékány, 2004; Xie *et al.*, 2004; García *et al.*, 2006; Saien and Nejati, 2007) และรูปแบบเคลือบผิวโดยวิธีจุ่มเคลือบ (Dipping coat) (Marcí *et al.*, 2003; Zhang, 2005; Negishi *et al.*, 2006; Zuo *et al.*, 2006) ซึ่งการสลายโทลูอินโดยใช้ไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบมักมีประสิทธิภาพต่ำกว่า เช่น การสลายโทลูอินในระบบของเหลวด้วยไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบที่มีพื้นที่ผิวของไทเทเนียเท่ากับ $143 \text{ cm}^2 \cdot \text{L}^{-1}$ สามารถสลายโทลูอินที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ในระบบของเหลวปริมาตร 500 mL จนเหลือความเข้มข้น $70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ภายใน 8 ชม. (Negishi *et al.*, 2006) แต่ไทเทเนียรูปแบบแขวนลอยมีความยุ่งยากในการนำไทเทเนียกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากต้องผ่านการปั่นเหวี่ยงหรือกรองไทเทเนียด้วยวัสดุที่มีรูพรุนขนาดเล็ก ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการศึกษาการใช้ไทเทเนียรูปแบบเคลือบผิวที่สะดวกในการนำกลับมาใช้ใหม่ แต่มีประสิทธิผลการสลายสารมลพิษต่ำกว่าการใช้ไทเทเนียรูปแบบแขวนลอย โดยการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียรูปแบบจุ่มเคลือบทั้งการเติมสารลดแรงตึงผิวใน

สารละลาย การกระจายตัวของไอออนของโลหะหรือธาตุบางชนิดบนไทเทเนียมเพื่อขยายช่วงแสงที่ใช้ในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกให้สูงขึ้น หรือแม้กระทั่งการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสงเพื่อเพิ่มความเข้มแสงและลดต้นทุนของกระบวนการ ซึ่งช่วยให้ไทเทเนียมรูปแบบเคลือบผิวที่ใช้งานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้น

การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตแคตาไลติกสามารถทำได้หลายวิธี ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายเรื่องศึกษาการเติมสารลดแรงดึงผิวในระบบ ซึ่งผลของสารลดแรงดึงผิวจะช่วยให้อิเล็กตรอนของสารมลพิษกระจายตัวได้ดีและช่วยละลายสารมัธยันต์ (Intermediates) บนพื้นผิวของไทเทเนียมระหว่างการสลายสารอินทรีย์ ส่งผลให้ไทเทเนียมเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโมเลกุลของสารได้มากขึ้น (Marcí *et al.*, 2003; Oppenländer, 2003; Pernyeszi and Dékány, 2004)

นอกจากเรื่องของ การกระจายตัวของไอออนและปริมาณพื้นที่ผิวของไทเทเนียมแล้ว ประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตแคตาไลติกยังขึ้นอยู่กับปริมาณอิเล็กตรอนและโฮล (Hole, h^+) การรวมกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole recombination) และปฏิกิริยาการส่งผ่านประจุ (Charge-transfer reaction) ซึ่งปริมาณอิเล็กตรอนและโฮลที่เกิดมากขึ้น จะส่งผลให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (HO^\cdot) และอนุมูลออกซิเจน (O_2^\cdot) เพิ่มขึ้นและเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการสลายสารมลพิษ วิธีที่สามารถเพิ่มปฏิกิริยาการส่งผ่านประจุในผลึกไทเทเนียมและช่วยลดการรวมกันใหม่ของอิเล็กตรอนและโฮล คือการเติมไอออนของโลหะ เช่น ไอร์รอน (III) ไอออน (Fe^{3+}), เงิน (I) ไอออน (Ag^+), สังกะสี (II) ไอออน (Zn^{2+}), นิกเกิล (II) ไอออน (Ni^{2+}), ทองแดง (II) ไอออน (Cu^{2+}), ตะกั่ว (II) ไอออน (Pb^{2+}), โคบอลต์ (II) ไอออน (Co^{2+}), โครเมียม (III) ไอออน (Cr^{3+}), ทังสเตน (VI) ไอออน (W^{6+}), วานาเดียม (V) ไอออน (V^{5+}), โมลิบดีนัม (VI) ไอออน (Mo^{6+}) (Fuerte *et al.*, 2002; Xu *et al.*, 2004; Paola *et al.*, 2002; Tseng *et al.*, 2009) ซึ่งไอออนของโลหะที่ผู้วิจัยสนใจทำการศึกษาได้แก่ Zn^{2+} และ Ni^{2+} เนื่องจากเกลือของโลหะทั้งสองชนิดมีราคาถูกและหาได้ง่าย และไอออนของสังกะสีและนิกเกิลสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของไทเทเนียมในการสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่าไทเทเนียมปกติ (Chen *et al.*, 2008; Colmenares *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2008; Uhm *et al.*, 2006)

สำหรับไทเทเนียมที่มีไอออนของโลหะสามารถใช้แสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 388 nm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นปกติที่ไทเทเนียมใช้ในกระบวนการโฟโตแคตาไลติก คือช่วงวิสิเบิลที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 nm ขึ้นไปในกระบวนการโฟโตแคตาไลติกได้ (Xu *et al.*, 2004; Colmenares *et al.*, 2006; Zuo *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2007) การขยายความยาวคลื่นของแหล่งแสงส่งผลดีในการใช้แสงอาทิตย์ทดแทนแหล่งแสงจากหลอดยูวี ทำให้สามารถลดต้นทุนในการใช้หลอดยูวีที่มีราคาแพง อีกทั้งแสงอาทิตย์ยังมีความเข้มแสงมากกว่าหลอดยูวี จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลติกในการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่า ซึ่งที่ผ่านมาพบว่าการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสงร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา

ไทเทเนียมสามารถสลายโทลูอินและสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้ดี ทั้งยังสามารถลดต้นทุนในการสลายสารอินทรีย์ได้ (Fuerte *et al.*, 2002; Pernyeszi and Dékány, 2004; García *et al.*, 2006)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการสลายโทลูอินในน้ำทิ้งโดยการใช้อัลตราซาวด์ร่วมกับไทเทเนียมร่วมกับแสงและประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิว การเติมไอออนของโลหะและการใช้แสงอาทิตย์แทนหลอดกำเนิดแสงยูวีเพื่อให้ได้ระบบที่เหมาะสมและได้สถานะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงจากห้องปฏิบัติการเคมี

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์รูปแบบแขวนลอยและรูปแบบจุ่มเคลือบร่วมกับแสงยูวีโดยประยุกต์ร่วมกับการเติมสารลดแรงตึงผิวและไอออนของโลหะในการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์
2. เพื่อออกแบบระบบบำบัดโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งแสงยูวี
3. เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดที่พัฒนากับน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการจริง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทราบสถานะที่เหมาะสมในการสลายโทลูอินในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้แสงร่วมกับไทเทเนียมทั้งแบบแขวนลอยและแบบจุ่มเคลือบ ทั้งปริมาณไทเทเนียม ชนิดและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวและไอออนของโลหะ
2. สามารถสร้างระบบการบำบัดขนาด 10 L ในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่มีโทลูอินได้โดยใช้ไทเทเนียมร่วมกับแสงอาทิตย์