บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การกำจัดศัตรูพืชโดยใช้สารออร์แกนโนฟอสฟอรัสได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง (Frank et al.,1999) ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้แพร่กระจายและสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง ทั้งในน้ำ อากาศ หรือดินได้ รวมทั้งเกิดผลต่อสุขภาพทั้งในมนุษย์และสัตว์(Frank et al.,1999; Abdel-Halim et al., 2006)สารกลุ่มออร์แกนโนฟอสฟอรัสมีหลายชนิดซึ่งสารโพรฟีโนฟอส(profenofos) เป็นหนึ่งในสารกลุ่มดังกล่าวและมีใช้กันอย่างแพร่หลายในการเพาะปลูกพืชหลายชนิด ตัวอย่างเช่น ฝ้าย (Ali et al., 2008) ข้าว (He et al., 2010) และ ผัก (Jaipiem et al., 2009) เป็นต้นนอกจากนี้ยังพบว่าการใช้สารดังกล่าวมีปริมาณมาก ตัวอย่างเช่น จากการรวบรวมข้อมูลของ Pehkonen and Zhang (2002) พบว่าในประเทศสหรัฐมีการใช้สารโพรฟีโนฟอสมากกว่า 200 ตันต่อปี สำหรับการปลูกฝ้ายในเขตพื้นที่ทางใต้ของประเทศ

สารโพรฟีโนฟอส(*O*-(4-bromo-2-chlorophenyl) *O*-ethyl *S*-propyl phosphorothioate)เป็นพิษทั้งต่อมนุษย์และสัตว์หลายชนิด (Moulton et al., 1996; Fulton and Key, 2001) โดยส่งผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึม และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะซิทิลโคลีนเอสเทอเรสซึ่งส่งผลต่อการทำงานของประสาทส่วนกลาง (Landis and Yu, 1995;Gotoh et al., 2001; Abass et al., 2007; Ismail et al., 2009) จากการใช้สารในปริมาณมากที่กล่าวไว้ข้างต้นบ่งชี้ความเป็นไปได้ว่าสารโพรฟีโนฟอสสามารถกระจายลงสู่แหล่งน้ำทั้งการไหลบ่าลงน้ำผิวดินหรือไหลซึมลงน้ำใต้ดิน ประกอบกับความเป็นพิษของสาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเทคโนโลยีเพื่อรองรับปัญหาการปนเปื้อนของสารโพรฟีโนฟอสในแหล่งน้ำ

กรณีทั่วไปในระบบผลิตน้ำดื่มขนาดใหญ่หรือในระดับอุตสาหกรรมซึ่งใช้เทคโนโลยีขั้นสูงอาจสามารถกำจัดสารโพรฟีโนฟอสได้ในกระบวนการออกซิเดชันด้วยแสงอัลตราไวโอเลตหรือโอโซน รวมทั้งกระบวนการเยื่อกรอง แต่ในพื้นที่ชนบทประชาชนส่วนมากบริโภคน้ำประปาหรือน้ำใต้ดินโดยตรง ซึ่งระบบประปาชุมชนอาจไม่สามารถกำจัดสารดังกล่าวได้ ดังงานวิจัยในอดีตที่ศึกษาการกำจัดสารคลอร์เฟนวินฟอสและพาราไธออนเมทิลซึ่งเป็นสารกำจัดศัตรูพืชออร์แกนโนฟอสฟอรัสเช่นกัน (Ormad et al., 2008) โดยในการศึกษานั้นพบว่ากระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยสารส้มซึ่งเป็นกระบวนการในการผลิตน้ำประปาทั่วไปสามารถกำจัดคลอร์เฟนวินฟอส และ พาราไธออนเมทิลเพียงร้อยละ 15 และ 20 ตามลำดับ จากผล

ดังกล่าวบ่งชี้ได้ว่าระบบประปาอาจไม่สามารถกำจัดสารโพรฟีโนฟอสได้เช่นกัน ประกอบกับพื้นที่ชนบทส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมดังนั้นโอกาสและปริมาณของสารตกค้างในน้ำอาจสูงกว่าในเขตชุมชนเมือง ดังนั้นจึงควรมีเทคโนโลยีเพื่อกำจัดสารตกค้าง โดยเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงรองรับสารตกค้างความเข้มข้นสูง และเป็นเทคโนโลยีที่ใช้งานได้ง่าย คงทน รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายน้อยเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้จริงในท้องถิ่น

กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advanced Oxidation Processes, AOPs) เป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำด้วยอนุมูลไฮดรอกไซด์ (Hydroxyl Radical, $OH^{\bullet}$) ซึ่งจะทำหน้าที่ออกซิไดซ์(ย่อยสลาย) มลสารให้เปลี่ยนรูปหรือแปรสภาพเป็นสารอนินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน (Mineralization) เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (Legrini et al., 1993) ซึ่งการสร้าง $OH^{\bullet}$ นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเติมโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (O_3-H_2O_2) หรือจากปฏิกิริยาเฟนตัน (Fenton: Fe^{2+}-H_2O_2) หรือการใช้แสงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV) ซึ่งอาจเป็นกระบวนการร่วมของแสงอัลตราไวโอเลตกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (UV-H_2O_2) หรือ แสงอัลตราไวโอเลตกับไททาเนียมไดออกไซด์ (UV-TiO_2) เป็นต้น แสงอัลตราไวโอเลตที่ใช้จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 254-400 นาโนเมตร กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงได้ถูกประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารพิษตกค้างหลายชนิด ซึ่งรวมถึงสารกำจัดศัตรูพืช เช่น สารคลอไพรีฟอส (Wu and Linden, 2010) สารอาลาคลอร์ (Sanches et al., 2010) เป็นต้น ถึงแม้ว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาจะประสบความสำเร็จเป็นส่วนใหญ่ แต่กระบวนการยังมีข้อด้อยบางประการเช่น ต้องเติมสารเคมีลงในน้ำซึ่งอาจส่งผลให้เกิดสารก่อมะเร็ง เช่น การเกิดสารโบรเมต (Bromate) จากกระบวนการโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Liang et al., 1999) หรือทำให้น้ำมีคุณสมบัติไม่เหมาะกับการบริโภคเช่น มีสีสนิมเหล็ก (Murray and Parson, 2004) หรือต้องมีระบบการกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเฟนตัน (Anotai et al., 2009)

ดังนั้นจึงมีการพัฒนากระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่แก้ข้อด้อยข้างต้นได้ ซึ่งได้แก่ กระบวนการแวคคูอัมอัลตราไวโอเลต (Vacuum UV, VUV) กระบวนการนี้สร้าง $OH^{\bullet}$ โดยใช้แสงที่มีความยาวคลื่นต่ำกว่า 190 นาโนเมตร ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำแตกตัวและเกิด $OH^{\bullet}$ ขึ้นดังในสมการที่ 1.1

$$H_2O + h\nu\,(<190\text{ nm}) \rightarrow OH^{\bullet} + H^{\bullet} \qquad 1.1$$

นอกจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดย OH• แล้วนั้น มลสารยังสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยแสงโดยตรง (Direct photolysis) จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่ากระบวนการVUV ไม่ต้องใช้สารเคมีดังนั้นจึงไม่มีสารก่อมะเร็งเกิดขึ้น ไม่เกิดสีและกลิ่นที่พึงรังเกียจ รวมทั้งไม่มีตะกอนจากกระบวนการ นอกจากนี้ระบบดังกล่าวยังสามารถใช้ในลักษณะการบำบัด ณ จุดใช้งาน (point of use treatment) กล่าวคือ ระบบนี้มีส่วนประกอบน้อย (มีเฉพาะหลอด VUV) ทำให้สามารถติดตั้งได้ง่ายในจุดใช้งานต่าง ๆ เช่น ที่อยู่อาศัยที่อยู่ห่างไกล เป็นต้น ในการศึกษาผ่านมาพบว่ากระบวนการ VUV มีประสิทธิภาพในการกำจัดมลสารในน้ำได้หลายชนิด เช่น คลอโรฟีนอล (Han et al., 2004) แอลกอฮอล์ (Oppenlander et al., 2005) กรดซิตริกและกรดแกลลิค (Quici et al., 2008) สี (Tasaki et al., 2009) สารที่เกิดกลิ่นและรส (Kutschera et al., 2009) และเครื่องสำอางและเวชภัณฑ์ (Kim and Tanaka, 2009) เป็นต้น

จากผลการวิจัยที่ผ่านมาบ่งชี้ได้อย่างชัดเจนว่ากระบวนการ VUV สามารถย่อยสลายสารที่มีโครงสร้างซับซ้อนหลากหลายรูปแบบ ดังนั้นกระบวนการนี้จึงมีศักยภาพในการกำจัดสารโพรฟีโนฟอสปนเปื้อนในน้ำได้ และด้วยข้อดีของกระบวนการ VUV ที่มีรูปแบบการใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน ไม่ต้องเติมสารเคมี และราคาของหลอด VUV ยังมีราคาไม่สูง (Universal light source, Inc., 2009 cited in Ratpukdi et al., 2010) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาการใช้กระบวนการ VUV เพื่อกำจัดสารโพรฟีโนฟอส

ด้วยเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การพัฒนากระบวนการVUV เพื่อกำจัดสารโพรฟีโนฟอสโดยศึกษาทั้งประสิทธิภาพ อัตราการย่อยสลาย ของสารโพรฟีโนฟอส การศึกษานี้จำแนกออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ในส่วนแรกเป็นการหาสภาวะของกระบวนการVUV (operating conditions) ที่เหมาะสมโดยครอบคลุมปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ VUV ในการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอสในน้ำ ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของสารโพรฟีโนฟอสเริ่มต้น พีเอช กำลังวัตต์ VUVออกซิเจนละลายน้ำ Alkalinity และ ไนเตรท และศึกษาเปรียบเทียบกับกระบวนการ UV สำหรับการศึกษาในส่วนหลังเป็นการศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ต่อการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอสด้วยกระบวนการ VUV มูลเหตุจูงใจในการศึกษาในส่วนนี้เกิดจากสารอินทรีย์ธรรมชาติเป็นสารที่มีในแหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป และอาจขัดขวางการทำงานของกระบวนการ VUV ได้ (Zamy et al., 2004) ผลจากงานวิจัยนี้นอกจากจะพัฒนากระบวนการที่มีประสิทธิภาพต่อการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอสแล้วยังเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบผลิตน้ำสะอาดที่เหมาะสมสำหรับชุมชนชนบท แต่อย่างไรก็ตามผลการศึกษายังสามารถขยายผลสำหรับการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารโพรฟีโนฟอสในระบบผลิตน้ำสะอาดขนาดใหญ่ ตลอดจนการประยุกต์ผลการศึกษาและแนวทางการศึกษาสำหรับกำจัดมลสารชนิดอื่น ๆ ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลัก คือ เพื่อพัฒนากระบวนการ VUV เพื่อกำจัดสารโพรฟีโนฟอส โดยมีวัตถุประสงค์จำเพาะ คือ

1) เพื่อหาสภาวะของกระบวนการVUV ที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอส โดยศึกษา
   1.1) ผลของความเข้มข้นของสารโพรฟีโนฟอสเริ่มต้น
   1.2) ผลของพีเอช
   1.3) ผลของการเติมอากาศ
   1.4) ผลของ Alkalinity
   1.5) ผลของไนเตรท
2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารอินทรีย์ธรรมชาติลักษณะต่าง ๆ ต่อการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอส ด้วยกระบวนการ VUV

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1) กระบวนการ VUV สามารถกำจัดสารโพรฟีโนฟอสได้
2) ความเข้มข้นของสารโพรฟีโนฟอสเริ่มต้นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายลดลง
3) ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอสสูงเมื่อดำเนินกระบวนการ VUV ที่พีเอชที่เหมาะสม
4) การเติมอากาศส่งผลให้ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายเพิ่มขึ้น
5) ปริมาณ Alkalinity เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายลดลง
6) ปริมาณ Nitrate เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายลดลง
7) สารอินทรีย์ธรรมชาติมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอส
8) สมบัติของสารอินทรีย์ธรรมชาติที่เป็น unsaturated carbon (aromatic และ double bond) เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพและอัตราการย่อยสลายสารโพรฟีโนฟอสด้วยกระบวนการ VUV ลดลง