

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำทิ้งชุมชนจากระบบบำบัดตามธรรมชาติ  
มาใช้ในการเพาะปลูก

THE POSSIBILITY OF USING DOMESTIC EFFLUENT FROM POND SYSTEM  
FOR IRRIGATION

สุดธิดา เปลี่ยนการมย์ (Sudtida Pliankarom, Ph.D.)<sup>1</sup>

กิตติชัย ธนทรัพย์สิน (Kittichai Thanasupsin, Ph.D., P.E.)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักวิชาการสิ่งแวดล้อม สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน, [sudtidapl@hotmail.com](mailto:sudtidapl@hotmail.com)

<sup>2</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, [ktcs@kmitnb.ac.th](mailto:ktcs@kmitnb.ac.th)

**บทคัดย่อ :** ระบบอนุกรมบำบัดตามธรรมชาติแบบผสมผสานที่ใช้ศึกษา เป็นบ่ออนุกรม ๒ บ่อติดกัน รับน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษาที่ผ่านการบำบัดบางส่วนแล้ว และน้ำทิ้งจากโรงอาหาร มีการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอนุกรมบำบัดตามธรรมชาติ แบบผสมผสานเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำต่างๆ และทำการทดลองนำน้ำทิ้งมาใช้ปลูกพืชเพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช และใช้ ANOVA ทดสอบตัวแปรต่างๆ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างว่ามีนัยทางสถิติ ตัวแปรดังกล่าวได้มาจากการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืชและการสะสมแร่ธาตุในดิน เมื่อรดน้ำด้วยน้ำทิ้งต่างชนิดกัน ผลการศึกษาพบว่า ระบบอนุกรมบำบัดที่ใช้ในการศึกษา โดยทั่วไปมีลักษณะและปฏิกิริยาเคมีภายในบ่อ เช่นเดียวกับบ่อบำบัดประเภทแฟลลเททีฟ น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด และ มาตรฐานการระบายน้ำลงทางน้ำชลประทาน และทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทาน ในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน มีเพียงของแข็งแขวนลอยในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่มีค่าสูงเกินมาตรฐานในบางช่วงเวลา ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่พบได้เสมอในน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแฟลลเททีฟ ผลการวิเคราะห์ดินที่ใช้ปลูกผักกวางตุ้งพบว่า มีลักษณะทั่วไปคงเดิม การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้ ANOVA พบว่าไม่มีความแตกต่างในการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้งที่ได้รับการรดด้วยน้ำทิ้งสามชนิด ( น้ำประปา, น้ำเสีย, น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ตัวแปรชีวิตคุณลักษณะของดิน ซึ่งพบว่า ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อรดด้วยน้ำทิ้งสามชนิด

**ABSTRACT :** The aims of this research are to investigate the performance of a series of facultative ponds to treat grey water, and to examine the possibility of using domestic wastewater to grow Pak-Choi. This paper discusses the removal efficiency of the pond system. The analytical results were then compared with some relevant national discharge limits. The use of domestic wastewater from a series of natural ponds system for irrigation was also studied. The pot plantations experiments were conducted at laboratory scale using 3 types of irrigated water, i.e. tap or piped water (PW), raw domestic wastewater (RW) and effluent from pond system or treated wastewater (TW). Calculations using ANOVA were carried out to compare a significant difference of yields, growth rates of Pak-Choi and soil characteristics of each experimental trial. In conclusion, it is likely that the performance of a series of natural pond system would be considered as reasonable condition. It was also found that the yields, growth rates and soil characteristics from pot plantation experiments would not show any significant difference between each trial. According to this, it is most likely that RW and TW are suitable to be use as irrigated water.

## 1. บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ และสิ่งมีชีวิตทั่วไป น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ น้ำเสียนี้นักประกอบไปด้วย สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และ สารประกอบต่างๆ ที่เป็นธาตุอาหาร ที่มีโครงสร้างที่ถูกย่อยสลายตามธรรมชาติได้ง่ายและย่อยสลายได้ยาก หากปล่อยน้ำเสีกลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่ผ่านขบวนการบำบัดอย่างหนึ่งอย่างใด จะส่งผลให้แหล่งรองรับน้ำที่นั่น มีคุณภาพเสื่อมโทรมลง การบำบัดน้ำเสียก่อนการระบายทิ้งสู่แหล่งน้ำสาธารณะจึงมีความจำเป็น ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำ อันเกิดจากระบายน้ำทิ้งดังกล่าว อย่างไรก็ตามในขบวนการบำบัดน้ำเสียนั้น ย่อมนำมาซึ่งค่าใช้จ่ายในขั้นตอนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในขั้นตอนการบำบัด (Treatment) ดังนั้นนักวิชาการจึงให้ความสนใจและศึกษาพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียที่พึ่งพิงธรรมชาติมาก (Natural Treatment System) ใช้พลังงานน้อย (Low Energy Consumption) และสามารถนำเอาทรัพยากรที่มีประโยชน์มาใช้ใหม่ (Resource Recovery) เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายและสร้างแรงจูงใจในการบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด การศึกษาวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะนำน้ำทิ้งจากบ้านพักอาศัยมาใช้ประโยชน์

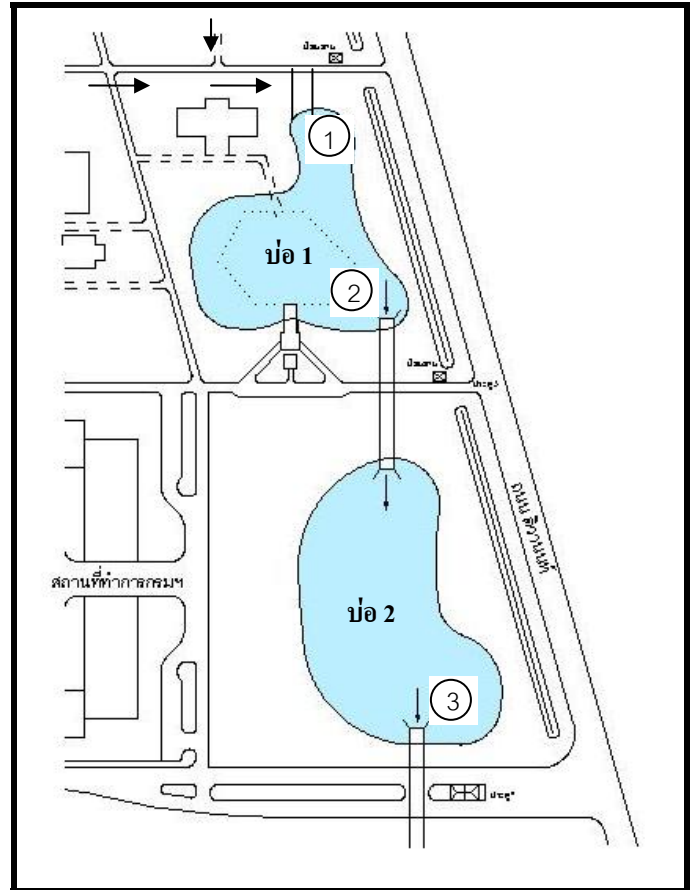
### 1.1 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบอนุกรมบ่อบำบัดตามธรรมชาติ แบบผสมผสานเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำต่างๆ
- 2) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้ ANOVA ทดสอบตัวแปรต่างๆ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างว่ามีความนัยทางสถิติ เมื่อรดน้ำด้วยน้ำทิ้งต่างชนิดกัน

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทดลองปลูกพืชในภาคสนาม ภาพประกอบการดำเนินการประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

- 1) การประเมินประสิทธิภาพของระบบอนุกรมบ่อบำบัดแบบผสมผสาน (Series of Integrated Natural Pond System) โดยการเก็บตัวอย่างน้ำจุดเก็บตัวอย่างมีทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ ที่บริเวณทางเข้าบ่อที่ 1 (Influent - P1), ทางออกบ่อที่ 1 (Effluent - P1) และที่บริเวณทางออกบ่อที่ 2 (Effluent - P2) ดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงจุดเก็บตัวอย่างมีทั้งหมด 3 จุด: (1) บริเวณทางเข้าบ่อที่ 1 (Influent - P1), (2) ทางออกบ่อที่ 1 (Effluent - P1) และ (3) บริเวณทางออกบ่อที่ 2 (Effluent - P2)

- 2) การศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช โดยการทดลองปลูกพืช ในโรงเพาะชำ และจัดบันทึกการเจริญเติบโตของพืชซึ่งปลูกในกระถาง ซึ่งได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ตำรับการทดลอง (Treatment) หรือ ชุดการทดลองที่พืชได้รับการรดน้ำต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำประปา (Piped Water, PW), น้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัดด้วยระบบอนุกรมบ่อบำบัดแบบผสมผสาน (Raw Wastewater, RW) และ น้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบอนุกรมบ่อบำบัดแบบผสมผสาน (Treated Wastewater, TW) โดยแต่ละชุดการทดลองจะมีตัวอย่างซ้ำกัน 3 กระถาง หรือ 3 ซ้ำ (Replication)

การศึกษากการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง พิจารณาจากความสูงจากโคนถึงยอด ( $H_T$ ), จำนวนใบ, จำนวนใบที่มีความกว้างมากกว่า 1 ซม. ( $W_{>1.0\text{ cm}}$ ), ความกว้างสุดของใบ ( $W_{\text{max}}$ ), ความยาวของใบที่สมบูรณ์ที่สุด ( $L_{\text{max}}$ ) และ ความยาวของราก ( $H_R$ ) จะนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราการเจริญเติบโต (Growth rate, GR) ในช่วงต่างๆ 3 ช่วง ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่เริ่มออก ถึง

วันที่ 30 ( $GR_{0-30}$ ) อัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่วันที่ 30 ถึง 45 ( $GR_{30-45}$ ) อัตราการเจริญเติบโตตั้งแต่วันที่ 45 ถึง 60 ( $GR_{45-60}$ ) และ อัตราการเจริญเติบโตสะสม (Cumulative Growth Rate,  $GR_{cum}$ )

การศึกษาผลผลิต (Yields) จากการวัดน้ำหนักของพืชที่ได้รับการรดน้ำแตกต่างกัน โดยทำการบันทึกน้ำหนัก ทั้งน้ำหนักเปียก (Wet Weight,  $W_{wet}$ ) และ น้ำหนักแห้ง (Dry Weight,  $W_{dry}$ ) ในช่วงต่างๆ 3 ช่วง ได้แก่ น้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง ณ วันที่ 30, 45 และ 60  $W_{wet\ 30}$   $W_{wet\ 45}$   $W_{wet\ 60}$   $W_{dry\ 30}$   $W_{dry\ 45}$  และ  $W_{dry\ 60}$ , ตามลำดับ

3) การศึกษาคุณลักษณะเบื้องต้นของดิน ที่นำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์ 4 ครั้ง คือ ก่อนเริ่มทำการทดลอง ระหว่างการทดลอง (วันที่ 30 วันที่ 45) และ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ปลูกพืชในกระถาง (วันที่ 60) โดยจะเก็บดินในนาข้าวแห่งหนึ่ง ในจังหวัดอยุธยา ที่ระดับความลึก 5-20 เซนติเมตร จากนั้นนำดินมาผึ่งให้แห้ง และทำการคัดเลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออกไปแล้วจึงนำไปบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์ ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) สารละลายดินที่สกัดจากดินที่อ้อม ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P Bray II) ความจุในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity) เป็นต้น

### 3. ผลการศึกษา

#### 3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดของอนุกรมบ่อแฟคัลเททีฟ

น้ำทิ้งที่ไหลเข้าระบบบำบัดตามธรรมชาติ มาจากน้ำทิ้งจากหอพักนักศึกษา (Dormitories) และ น้ำทิ้งจากโรงอาหาร (Canteen) ซึ่งผ่านขั้นตอนการดักไขมันและตะแกรงกรองแล้ว อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำทิ้งมีค่าระหว่าง 55 ถึง 60 ลบ.ม./วัน มีระยะเวลาเก็บกักในระบบบำบัดตามธรรมชาติ ( $D_{t\ Total}$ ) 158 วัน ก่อนจะไหลออกสู่ภายนอกระบบ โดยแรงโน้มถ่วง (Gravity Flow)

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัด มีค่า pH 7.0-8.0 อยู่ในเกณฑ์เป็นกลางค่อนข้างเป็นด่างเล็กน้อย ถือว่ามีความปกติ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร, เกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทาน และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ซึ่ง

เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยทั่วไปในแหล่งน้ำตามธรรมชาติไม่ควรต่ำกว่า 4 มก.ต่อลิตร<sup>[4],[5],[7]</sup> ค่า DO เป็นตัวชี้ถึงปฏิกิริยาทางชีววิทยาในน้ำ น้ำทิ้งที่ออกจากบ่อบำบัด ที่ 2 เป็น พบว่าน้ำทิ้งที่ออกจากบ่อบำบัด ที่ 2 ส่วนใหญ่มีค่า DO<sub>(0.05 < Percentile < 0.95)</sub> ระหว่าง 0.2 ถึง 4.2 มก./ล. มีค่า Median และ Average ของข้อมูลระหว่าง 1.8 ถึง 1.9 มก./ล. เมื่อพิจารณาโดยรวม ค่า DO อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ต่อการทำงานของขบวนการบำบัดโดยวิธี Biological Treatment แบบใช้ออกซิเจน อย่างไรก็ตามค่า DO ในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อที่ 2 มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ ที่กำหนดให้ DO ในน้ำไม่ควรต่ำกว่า 4.0 มก./ล.

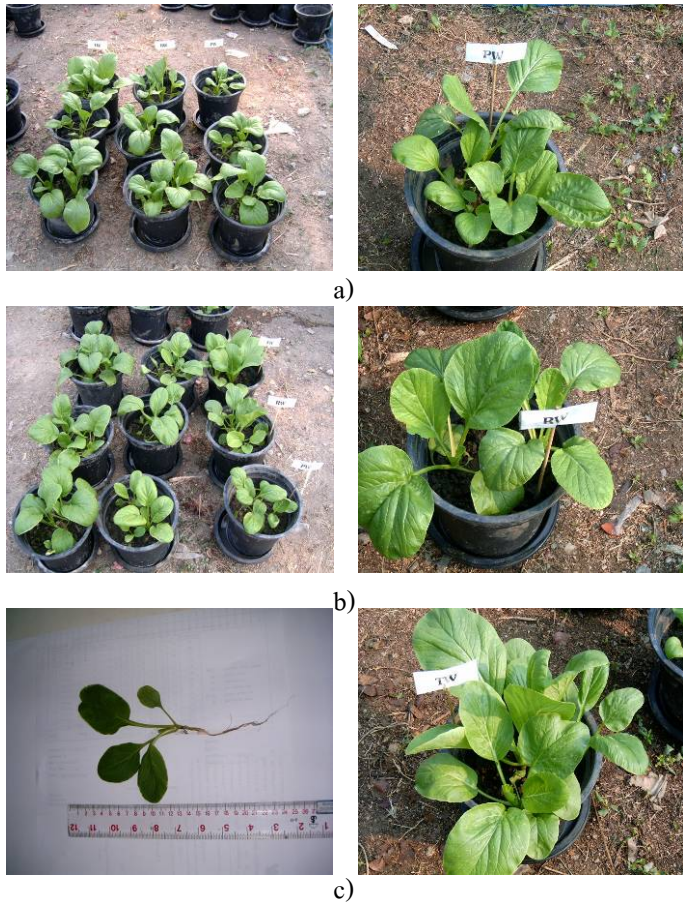
จากการเก็บข้อมูลพบว่า น้ำทิ้งที่เข้าระบบมีค่า  $BOD_5$  ค่อนข้างต่ำเนื่องมาจากน้ำทิ้งที่ไหลมาจากหอพักนักศึกษาได้รับการบำบัดโดยระบบบำบัดชนิดติดกับที่แบบไร้อากาศ (On-site Anaerobic Treatment Unit) ทำให้น้ำมีกลิ่นเหม็นและมีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ (เข้าใกล้ศูนย์) นอกจากนี้สารอินทรีย์ในน้ำทิ้งบางส่วนได้รับการบำบัดไปบ้างแล้ว คงเหลืออยู่เฉพาะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก หรือต้องใช้เวลานานในการย่อยสลายโดยเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ค่า  $BOD_5$  ของน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบบำบัดตามธรรมชาติมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับค่าซีโอดี โดยสัดส่วนของ  $BOD_5$  ในน้ำทิ้ง ต่อ COD มีค่าระหว่างร้อยละ 50 – 60 หรืออัตราส่วนระหว่าง COD : BOD ของน้ำทิ้งที่เข้าระบบมีค่าระหว่าง 1.7 – 2 เท่า ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนระหว่าง COD : BOD ของน้ำเสียชุมชนเล็กน้อย (กำหนดไว้ประมาณ 2 – 4 เท่า)<sup>[2],[9]</sup>

เมื่อพิจารณาค่าบีโอดี ( $BOD_5$ ) ที่ออกจากบ่อบำบัดที่ 1 และ 2 พบว่าระบบอนุกรมบ่อบำบัดตามธรรมชาติ สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดีได้ดีอย่างมีนัยสำคัญ จากการสังเกตพบว่า ค่าบีโอดี ( $BOD_5$ ) ที่ออกจากบ่อบำบัดแต่ละบ่อ มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจน โดยประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ( $BOD_5$ ) ของระบบอนุกรมบ่อบำบัดตามธรรมชาติโดยรวมประมาณ 80% ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบระบบบำบัดแบบแฟคัลเททีฟ

#### 3.2 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของพืช

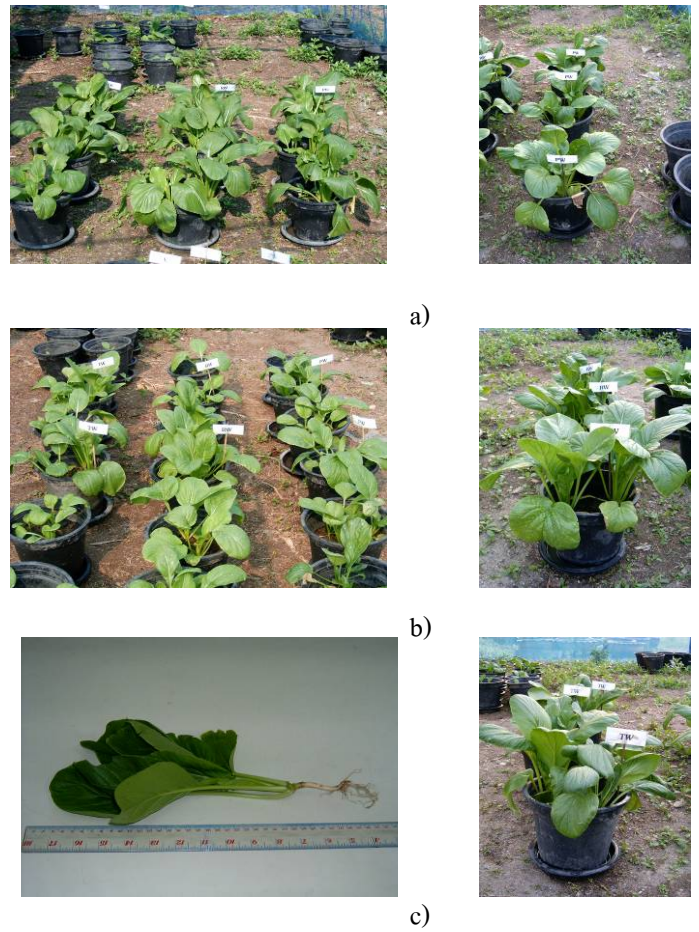
การศึกษานี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง (*Brassica.campestris L. ssp. chinensis (Lour.)Rupr* หรือ “Pak-Choi”) โดยทำการเปรียบเทียบผักกวางตุ้งที่รดด้วยน้ำ

แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ น้ำประปา (Piped Water) น้ำเสีย (Raw Water) และ น้ำที่ผ่านการบำบัด (Treated Water) ที่ระยะเวลา 30 วัน 45 วัน และ 60 วัน ดังแสดงในภาพที่ 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

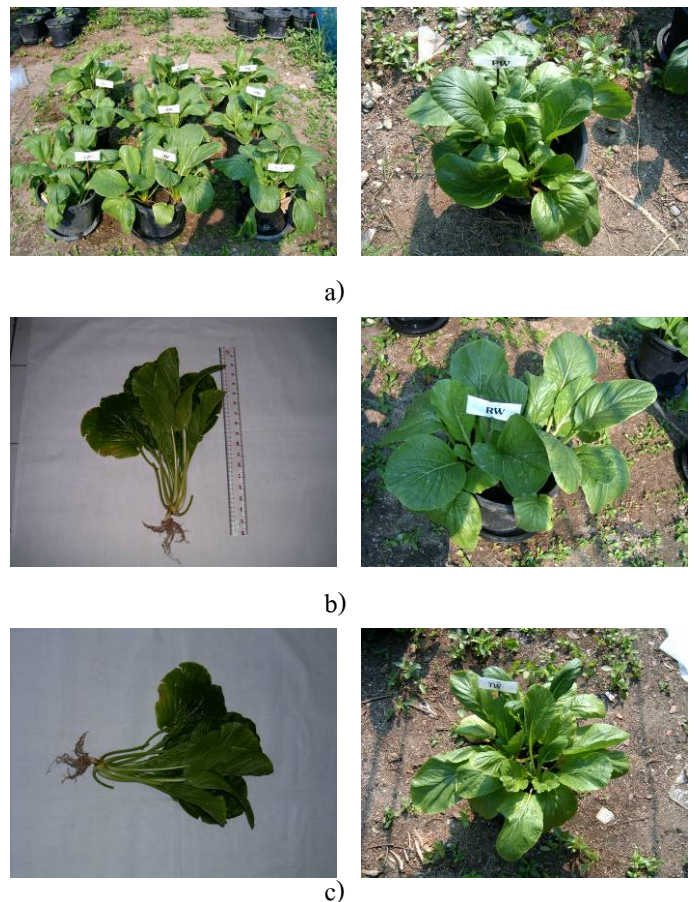


ภาพที่ 2 ผักกวางตุ้งที่ระยะเวลา 30 วัน a) รดด้วยน้ำประปา (PW) b) น้ำเสีย (RW) และ c) น้ำที่ผ่านการบำบัด (TW)

การทดลองพืชนี้ ได้ออกแบบการทดลอง เป็น Factorial Design โดยมี แฟกเตอร์ (Factor) 1 ตัว ได้แก่ ชนิดของน้ำ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ (Level) หรือ ชนิด ได้แก่ น้ำประปา (Piped Water) น้ำเสีย (Raw Water) และ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด (Treated Water) โดยแต่ละระดับมีจำนวน Replicate เท่ากับ 9 และทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตที่ระยะเวลา 30 วัน 45 วัน และ 60 วัน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ ได้แก่ ความสูงจากโคนถึงยอด (ซม.), ความยาวของใบที่สมบูรณ์ที่สุด (ซม.), จำนวนใบ (ใบ), จำนวนใบที่มีความกว้างมากกว่า 1 ซม. (ซม.), ความกว้างสุดของใบ (ซม.), ความยาวของราก (ซม.), น้ำหนักสด (กรัม) และ น้ำหนักแห้ง (กรัม)



ภาพที่ 3 ผักกวางตุ้งที่ระยะเวลา 45 วัน รดด้วยน้ำประปา (PW) น้ำเสีย (RW) และน้ำที่ผ่านการบำบัด (TW)



ภาพที่ 4 ผักกวางตุ้งที่ระยะเวลา 60 วัน a) รดด้วยน้ำประปา (PW) b) น้ำเสีย (RW) และ c) น้ำที่ผ่านการบำบัด (TW)

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้ Analysis of Variance, Single-factor Fixed Effect Model. โดยถ้าให้

$y_i$  เป็นผลรวมของค่าที่ได้จาก  $i^{\text{th}}$  treatment ในที่นี้ treatment คือ ชนิดของน้ำ

$\bar{y}_i$  เป็นค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้ภายใต้  $i^{\text{th}}$  treatment

$y_{..}$  ผลรวมทั้งหมดของค่าที่ได้

$\bar{y}_{..}$  ค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้ทั้งหมด

หรือสามารถแสดงเป็นสมการที่ (1) ถึง สมการที่ (4) ดังนี้

$$y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (1)$$

$$\bar{y}_i = y_i / n \quad i = 1, 2, \dots, a \quad (2)$$

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (3)$$

$$\bar{y}_{..} = y_{..} / N \quad (4)$$

โดยที่  $N = an$  หรือจำนวน Observations ทั้งหมด สำหรับการวิเคราะห์นี้ เพื่อทดสอบว่า

$$H_0 : \mu_{PW} = \mu_{RW} = \mu_{TW}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยหนึ่งคู่ (i, j)}$$

โดย  $H_0$  ได้แก่ Null Hypothesis  $H_1$  ได้แก่ Alternative Hypothesis และ  $\mu$  ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทำการวิเคราะห์

การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชที่ระยะเวลาต่างๆ โดยใช้ Analysis of Variance, Single-factor Fixed Effect Model. ผลการวิเคราะห์ใช้ Analysis of Variance พร้อมทั้งมีการตรวจสอบ Model Adequate ด้วย เช่น ตรวจสอบ สมมติฐาน Normality (Normality Assumption) โดยใช้ Normality Probability Plot ของ Residual หาก Residual มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Normal จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง การตรวจสอบ Model อีกอย่างได้แก่ การพล็อต Residual ในแต่ละ Run เพื่อดู Independent Assumption ของ Residual และการพล็อต Residual กับ Fitted Values เพื่อทดสอบ Constant Variance Assumption ของ Residual

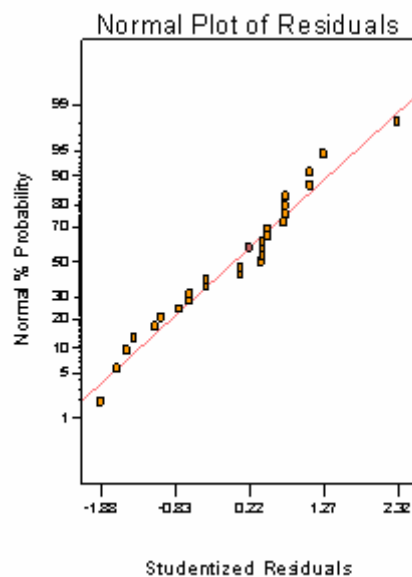
ยกตัวอย่างการวิเคราะห์ตัวแปร ความสูงของผักกวางตุ้ง จากโคนถึงยอดที่ระยะเวลา 30 วัน โดยใช้ Analysis of Variance ซึ่งพบว่า ค่า F-value เท่ากับ 0.15 ซึ่งน้อยกว่าค่า F-critical (F-critical = 3.403) แสดงว่าชนิดของน้ำไม่มีผลต่อความสูงจากโคนถึงยอดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 30 วัน

การตรวจสอบสมมติฐาน Normality ( $NID(0, \sigma^2)$ ) ของ Errors หรือ Residual โดยใช้ Normality Plot หาก Errors มีการกระจายตัวแบบ Normal กราฟ Normality Plot จะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Normality Assumption ใช้ได้

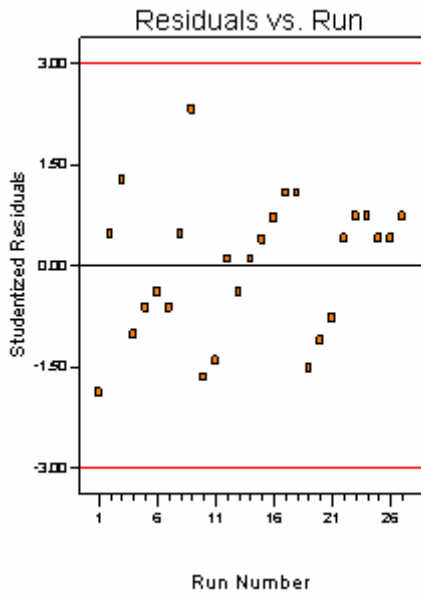
การตรวจสอบสมมติฐาน Normality ( $NID(0, \sigma^2)$ ) ของ Errors หรือ Residual โดย Residual ควรที่จะไม่มีรูปแบบ Pattern ที่ชัดเจน หากโมเดลนั้นถูกต้อง Residual จะต้องไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน (Structureless) และไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรใดๆ ดังแสดงในภาพที่ 6

การตรวจสอบค่า Residual เปรียบเทียบกับ Predicted Response จากภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Predicted Response ซึ่งไม่พบ Non-constant Variance ซึ่งหากพบ Non-constant Variance อาจต้องดำเนินการ Variance-Stabilizing Transformation และทำการวิเคราะห์ Analysis of Variance ของ Transformed Data เช่น หากข้อมูลมีการกระจายตัวแบบ Poisson Distribution, Square Root Transformation อาจจะนำมาใช้ได้ เป็นต้น

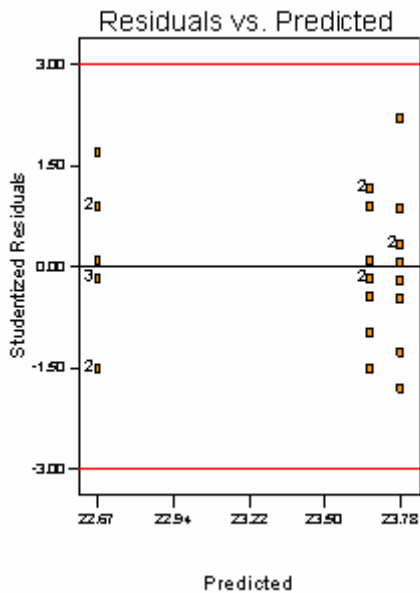
สำหรับตัวแปรอื่นๆที่ระยะเวลาต่างๆกัน สามารถดำเนินการได้ในลักษณะคล้ายๆกัน การวิเคราะห์ตัวแปรทั้ง 11 ตัวโดยใช้ Analysis of Variance รวมถึงการตรวจสอบ Model Adequate ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยพบว่าที่ระดับความมั่นใจ 95 เปอร์เซ็นต์ ค่า F-value มีค่าน้อยกว่าค่า F-critical ดังนั้น Null Hypothesis ได้รับการยอมรับ (Accepted) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างในการเจริญเติบโตของพืชสำหรับน้ำทั้งสามชนิด (น้ำประปา, น้ำเสีย, น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด)



ภาพที่ 5 แสดง Normality Plot



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Run Number



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง Residual กับ Predicted Values

ตารางที่ 1 สรุปผลค่า F-value จากการวิเคราะห์โดยใช้ Analysis of Variance

ตัวแปร	30 วัน	45 วัน	60 วัน
ความสูงจากโคนถึงยอด (ซม.)	0.15	0.21	0.23
ความยาวของใบที่สมบูรณ์ที่สุด (ซม.)	0.29	0.14	0.20
จำนวนใบ (ใบ)	0.15	0.36	1.17
จำนวนใบที่มี W > 1 ซม.	0.083	0.34	1.04
ความกว้างสุดของใบ (ซม.)	1.65	0.74	2.14
ความยาวของราก (ซม.)	1.04	1.24	0.23
นน. สด (กรัม)	0.43	0.35	1.25
นน. แห้ง (กรัม)	0.091	0.053	1.05

หมายเหตุ : ค่า F-critical =  $F_{0.05,2,24} = 3.403$

### 3.3 ศึกษาคุณลักษณะของดิน ที่นำมาใช้ในการทดลองปลูกพืช

เมื่อตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นพบว่าดินเป็นชุดดิน “อยุธยา” หรือ ‘Ayutthaya, (Ay)’ จากการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินพบว่า เป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ระดับปานกลาง หากใช้เพาะปลูกจำเป็นต้องใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ ปัญหาที่มักพบคือปริมาณของฟอสฟอรัสในดิน มีค่าค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกับธาตุไนโตรเจน และยังมีความเป็นกรดอีกด้วย เนื่องจากดินชุดนี้ พบบริเวณพื้นที่ราบเรียบ เนื้อดินเป็นดินเหนียว มีการระบายน้ำเร็ว ในช่วงฤดูฝนจะมีน้ำขังอยู่ที่ผิวดิน ระหว่าง 4 – 6 เดือน จึงมีสภาพเหมาะสมที่จะใช้ทำนาในช่วงฤดูฝน แต่สามารถปลูกพืชไร่ พืชผัก หรือพืชอื่นๆ ที่มีอายุสั้นได้ในช่วงฤดูแล้ง สำหรับในบริเวณพื้นที่ที่มีน้ำชลประทานเข้าถึง หรือมีแหล่งน้ำธรรมชาติ ถ้าจะปลูกไม้ยืนต้นไม่ผล หรือปลูกพืชไร่และพืชผักตลอดทั้งปี จะต้องทำคันดินล้อมรอบพื้นที่เพาะปลูก และยกร่องปลูกเพื่อช่วยการระบายน้ำของดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ คุณลักษณะทางเคมีของดิน ของชุดการทดลองที่รดด้วยน้ำประปา จากจำนวน ทั้งหมด 3 กระถาง หลังจากปลูกผักกวางตุ้ง ไปแล้ว 30 วัน พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ประกอบด้วย

- อินทรีย์วัตถุในดิน โดยน้ำหนัก (%OM.wt) โดยวิธี

Walkley and Black

- เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจน โดยน้ำหนัก (%N. wt)

- ค่าความเป็นกรดค่า pH

- ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก(Cation Exchange Capacity, CEC (cmol/kg))

- ค่าความนำไฟฟ้า (EC(dS/m) สารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิมตัว

- ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โดยวิธี P Bray

II(mg/kg)

- ปริมาณโพแทสเซียม K (mg/kg)

จากชุดการทดลอง ทั้ง 3 ชุด หลังจากปลูกผักกวางตุ้ง ไปแล้ว 30 วัน พบว่าคุณลักษณะของดิน ในด้าน เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน ธาตุไนโตรเจน ความเป็นกรดค่าของดิน และค่าความจุไอออนบวกที่แลกเปลี่ยนได้ มีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก (เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 25%) ในขณะที่ค่าความนำประจุไฟฟ้าของดิน ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการวิเคราะห์ คุณลักษณะดินหรือข้อมูลคุณลักษณะดิน จากตัวอย่างดินที่ได้ จากชุดการทดลองที่ รดด้วยน้ำประปา (PW), รดด้วยน้ำที่ไม่ผ่านการบำบัด (RW) และ รดด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ อนุกรมบ่อบำบัดตามธรรมชาติ (TW) นั้น ได้ประเมินผลโดยใช้ โปรแกรม ANOVA เช่นเดียวกับการศึกษาเปรียบเทียบการ เจริญเติบโตของผักกวางตุ้ง โดยผลที่ได้จากการทดสอบข้อมูล ด้วยโปรแกรมดังกล่าว จะช่วยให้สามารถอธิบายผลกระทบ ด้าน คุณลักษณะของดิน จากการรดน้ำด้วยน้ำต่างกัน 3 ชนิด

การวิเคราะห์ที่ใช้ Analysis of Variance พร้อมทั้งมีการตรวจสอบ Model Adequate ด้วยเช่น ตรวจสอบสมมติฐาน Normality (Normality Assumption) โดยใช้ Normality Probability Plot ของ Residual หาก Residual มีลักษณะการกระจายตัวแบบ Normal จะมี ลักษณะเป็นเส้นตรง การตรวจสอบ Model อีกอย่างได้แก่ การ พล็อต Residual ในแต่ละ Run เพื่อดู Independent Assumption ของ Residual และการ พล็อต Residual กับ Fitted values เพื่อทดสอบ Constant Variance Assumption ของ Residual พบว่าค่าอินทรีย์วัตถุ ในดิน ที่ระยะเวลา 30 วัน ไม่มีความแตกต่างกันสำหรับการรดด้วย น้ำทั้ง 3 ชนิด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ จากการทดสอบทั้ง 3 ชุดการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกัน สำหรับการรดด้วย น้ำทั้งสามชนิด (น้ำประปา, น้ำเสีย, น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด) ที่ ระยะเวลา 30 วัน, 45 วัน, และ 60 วัน

#### 4. สรุป

ระบบอนุกรมบ่อบำบัดตามธรรมชาติประเภทบ่อแฟลคเท ที่ฟมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งชุมชน โดยน้ำที่ผ่านการ บำบัดจากระบบดังกล่าวส่วนใหญ่ เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพน้ำทิ้งจากอาคาร, เกณฑ์มาตรฐานน้ำเพื่อการชลประทาน และเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำที่เหมาะสมเพื่อการดำรงชีวิตของ สัตว์น้ำ นอกจากนี้ผลการศึกษเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของ ผักกวางตุ้งและคุณลักษณะของดินที่ใช้ปลูกพืช แสดงว่า มีความ เป็นไปได้ ที่จะนำน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัดและน้ำที่ผ่านการบำบัด จากระบบบ่อบำบัด มาใช้เพื่อการเพาะปลูกพืชผัก (ผักกวางตุ้ง) เป็นการสนับสนุนแนวคิดในการนำน้ำคุณภาพต่ำมาใช้ในการ เกษตรกรรม (Alternative Use of Low Quality Water for Irrigation) อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาด้านการสะสมของ ปริมาณโลหะหนักและคอลิฟอร์มแบคทีเรียเพิ่มเติมต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการ อนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวง พลังงาน และความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย เสมอไป นอกจากนี้ก็ขอขอบคุณ คุณจงกลณี วรรณเพ็ญ สกุล และผู้ช่วยนักวิจัยทุกท่าน ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง ไป ด้วยดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Montgomery D. G, 2001. Design and Analysis of Experiments. 5<sup>th</sup> Edition. New York : John Wiley&Sons, Inc.
- [2] Pollution Control Department. 1994. 'Building Effluents Standards', Thailand
- [3] Pollution Control Department, 2005. Regulations: 'Concentration ranges of light-polluted domestic wastewater', Thailand
- [4] Royal Irrigation Department, 1989. 'Standard of water Quality being discharged into irrigation system (in Thai)', Thailand
- [5] Royal Irrigation Department, 1989. 'Guideline of water characteristics being used for irrigation', Thailand
- [6] Simachaya W., 2005. Technical Report: 'Water Quality Management in Thailand'. Thailand : Pollution Control Department Document
- [7] Thailand Fresh Water Fishery Institute, 1987. Academic Paper : 'Water Quality for Fresh Water Animal: Appropriated Water Quality Criteria for Aquatic Living'. No. 75
- [8] Pollution Control Department, 19 December 2005. Water Quality Standard <[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/reg\\_std\\_water.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html)>
- [9] Pollution Control Department, 19 December 2005. Wastewater Treatment <[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/water\\_wt.html#s7l](http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html#s7l)>