

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 จุลินทรีย์ (Microorganisms) [9]

จุลินทรีย์ หรือ จุลชีพ (Microorganism) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจึงจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ได้แก่ แบนคทีเรีย ราและยีสต์ เป็นต้น เราสามารถพบจุลินทรีย์ได้ทุกสภาวะแวดล้อม แม้แต่สภาวะแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ไม่ได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถปรับตัวให้สามารถอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ นอกจากนั้นร่างกายของมนุษย์ยังเป็นที่อยู่อาศัยและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์หรือจุลชีพหลายชนิด เช่น ผิวหนัง โพรงจมูก เยื่อเมือกในช่องปาก ทางเดินอาหาร และทางเดินหายใจ เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้อาจอยู่ในสภาพอิสระไม่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ ไม่ทำให้เกิดโรคกับมนุษย์ หรือทำประโยชน์แก่มนุษย์ก็ได้ เช่น ช่วยในกระบวนการเมตาบอลิซึมของอาหาร ป้องกันร่างกายจากการติดเชื้อโรคที่มีความรุนแรง และช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกาย

2.1.1 ประเภทของจุลินทรีย์ [2]

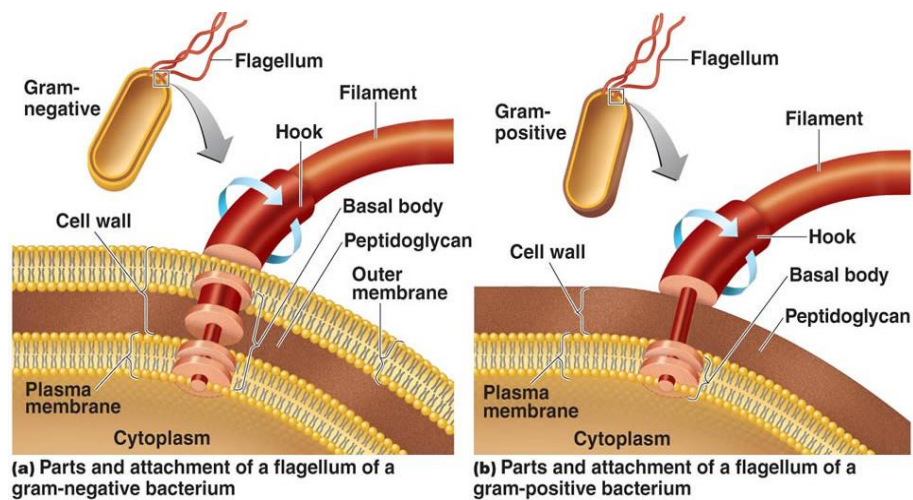
จุลินทรีย์สามารถแบ่งตามลักษณะของเซลล์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- 1) **Prokaryotic Cell** เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสห่อหุ้ม (Nuclear Membrane) ทำให้ส่วนของสารพันธุกรรมอยู่อย่างกระจัดกระจายในไซโตพลาสซึม จุลินทรีย์พวกนี้ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แบคทีเรีย ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มีวิวัฒนาการต่ำกว่าแบคทีเรียอื่นๆ
- 2) **Eucaryotic Cell** เป็นจุลินทรีย์ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสห่อหุ้ม ทำให้ส่วนของสารพันธุกรรมอยู่รวมกันในไซโตพลาสซึม จุลินทรีย์พวกนี้ได้แก่ ฟังไจ โปรโตซัว สาหร่ายอื่นๆ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

2.1.2 แบคทีเรีย (Bacteria) [2]

แบคทีเรียจัดอยู่ในกลุ่มเซลล์โปรคาริโอตเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวผนังเซลล์ประกอบด้วยกรดอะมิโนและคาร์โบไฮเดรต นิวเคลียสของแบคทีเรียมีลักษณะของสายดีเอ็นเอ (DNA) กู่ขดเป็นวงกลมโดยไม่มีผนังห่อหุ้ม แบคทีเรียสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-Positive Bacteria) และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-Negative Bacteria) โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แบคทีเรียแกรมบวกผนังเซลล์ประกอบด้วยเปปติโดไกลแคน (Peptidoglycan) ที่มีความหนาประมาณ 30 กรดอินทรีย์ชนิดนี้แบ่งเป็น 2 ชนิดย่อย คือ กรดไลโปเทอโคอิก (Lipoteichoic Acid) ที่ฝังตัวอยู่ตลอดชั้นของผนังเซลล์จนถึงผิวของ

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane) ซึ่งกรดไทโคอิกที่พบเฉพาะบริเวณของผนังเซลล์ (Wall Teichoic Acid) ในกรณีแบคทีเรียแกรมลบ ผนังเซลล์ประกอบด้วย Peptidoglycan ที่เรียงตัวซ้อนกันหนา 2-3 nm ซึ่งบางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากไม่มี Teichoic Acid เป็นองค์ประกอบ แต่มีเยื่อหุ้มเซลล์ด้านนอก (Outer Membrane) หุ้มอยู่อีกชั้นหนึ่ง ส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นลิพอโพลีแซ็กคาไรด์ (Lippopolysaccharide) ที่เกิดจากการเชื่อมยึดกันของ Lipid A และ O Polysaccharide นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีช่องว่างระหว่าง Outer Membrane และเยื่อหุ้มเซลล์ที่เรียกว่า Periplasmic Space หรือ Periplasm ซึ่งเป็นบริเวณที่พบเอนไซม์หลายชนิดที่มีบทบาทในการย่อยสลายสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่หลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ และเมื่อเปรียบเทียบกับ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในช่วงอุณหภูมิของร่างกายมนุษย์ พบว่าแบคทีเรียแกรมลบสามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบยังเป็นสาเหตุของโรคที่เกิดกับมนุษย์เป็นส่วนใหญ่

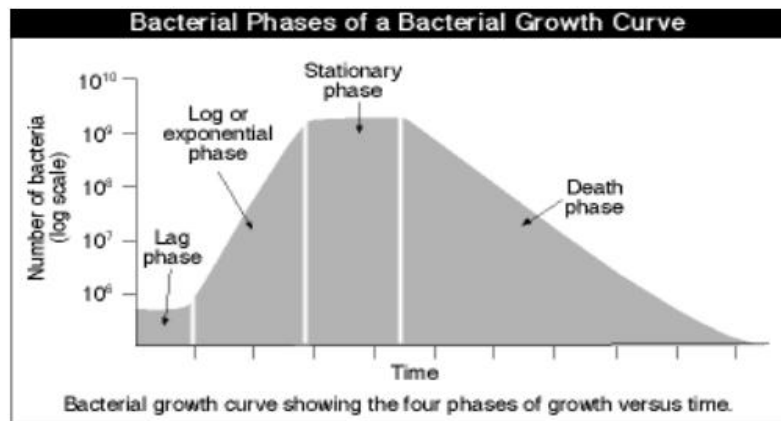


รูปที่ 2.1 โครงสร้างและองค์ประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-Positive Bacteria) และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram-Negative Bacteria) [3]

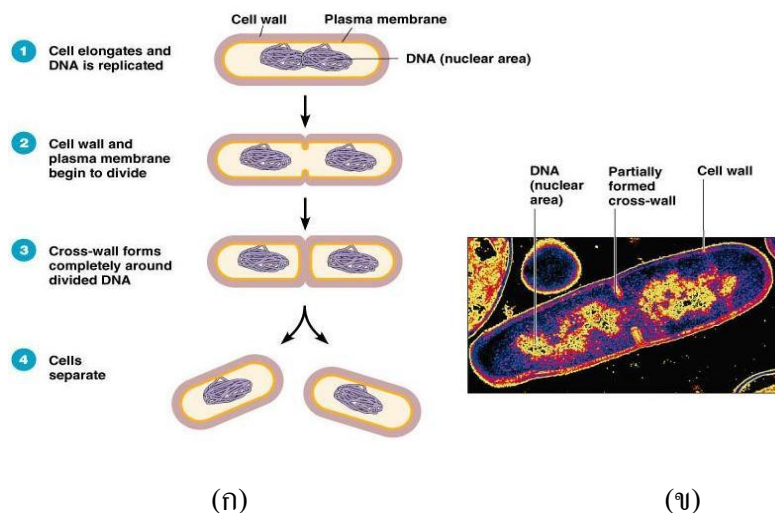
2.1.3 การเจริญเติบโตของของจุลินทรีย์ [5]

การเจริญเติบโตของของจุลินทรีย์สามารถศึกษาได้จากกราฟการเจริญเติบโต (Growth Curve) โดยที่กราฟการเจริญเติบโตโดยปกติ (Typical Growth Curve) แสดงให้เห็นถึงระยะการเจริญเติบโตทั้ง 4 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 คือ

- 1) **ระยะเตรียมการ (Lag phase)** เป็นช่วงการปรับตัวก่อนการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน
- 2) **ระยะเพิ่มจำนวน (Log phase)** เป็นช่วงที่เซลล์มีการเจริญเติบโตเต็มที่ จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) เป็นช่วงที่ใช้ศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
- 3) **ระยะคงที่ (Stationary phase)** เป็นช่วงที่อัตราการเพิ่มจำนวนเท่ากับอัตราการตาย
- 4) **ระยะตาย (Death phase)** เป็นช่วงที่จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตลดลง เนื่องจากอัตราการเพิ่มจำนวนน้อยกว่าอัตราการตาย



รูปที่ 2.2 ระยะการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [3]



รูปที่ 2.3 (ก) การแบ่งเซลล์ของ *E. coli* แบบ Binary Fission

(ข) การแบ่งเซลล์จากกล้องจุลทรรศน์ [7]

2.1.4 *Esherichia Coli* [2]

Esherichia Coli เป็นแบคทีเรียแกรมลบรูปแท่ง (Gram Negative Rod) ขนาด 1-2 m จัดเป็นพวกที่สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobic) เคลื่อนที่โดยอาศัยเพอริทริคัสแฟลกเจลลา (Peritrichous Flagella) เจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนพบได้ในลำไส้ใหญ่และอุจจาระของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น มีมากกว่า 100 สายพันธุ์ ส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดโรคแต่บางสายพันธุ์ทำให้เกิดโรค ได้แก่ โรคท้องร่วง (Gastroenteritis) ทางเดินปัสสาวะอักเสบ (Urinary Tract Infection) โลหิตเป็นพิษ (Septicemia) และเยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Neonatal Meningitis) แหล่งปนเปื้อนเชื้อ *Esherichia Coli* จึงสามารถพบได้ในบริเวณภายในห้องน้ำ ได้แก่ พื้นห้องน้ำ สายชำระ คันโยกกดน้ำ จนกระทั่งน้ำเสียจากบ้านเรือนเป็นต้น การเจริญเติบโตของ *Esherichia coli* จะขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศโดยใช้การแบ่งเซลล์แบบหนึ่งเซลล์เป็นสองเซลล์ (Binary Fission) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 นอกจากนั้น แบคทีเรียชนิดนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 35 °C – 37 °C และจำนวนเชื้อแบคทีเรียจะลดลงหรือหยุดการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิมากกว่า 45 °C

2.1.5 ประเภทของการวิเคราะห์จุลินทรีย์และรายงานผล [5]

การตรวจวัดลักษณะทางชีววิทยามีอยู่มากมายหลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการตรวจวิเคราะห์ ในที่นี้การตรวจวัดทางชีววิทยาที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสียหรือกระบวนการบำบัดที่สำคัญ เช่น การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยกล้องจุลทรรศน์ การตรวจสอบลักษณะของแบคทีเรียหรือตะกอนจุลินทรีย์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีววิทยา การตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Coliform Bacteria) เป็นต้น

1. การตรวจสอบประสิทธิภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Observation by Microscope)

โดยทั่วไปปัญหาที่ยากส่วนใหญ่ที่เกิดกับระบบบำบัดน้ำเสียนั้นมักเกี่ยวข้องกับระบบบำบัดทางชีววิทยาส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากขาดความรู้และความเข้าใจทางชีววิทยาและจุลชีววิทยา รวมทั้งจุลินทรีย์ก็ยังมีขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเป็นวิธีการหนึ่งที่มีความจำเป็นเพื่อที่จะทราบถึงลักษณะรูปร่าง และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของปัญหาบางประการ อุปกรณ์สำคัญที่ใช้คือ กล้องจุลทรรศน์ สไลด์แก้วและแผ่นแก้วปิดสไลด์ น้ำย้อมสีแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ การตรวจวัด โดยวิธีนี้ ส่วนใหญ่จะทำการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบชนิดของจุลินทรีย์อย่างคร่าว เช่น เป็นที่แบคทีเรียชนิดใด เป็นเส้นใยหรือไม่ เป็นเชื้อรา เป็นโปรโตซัว รวมทั้งให้ทราบถึงอัตราส่วนของปริมาณจุลินทรีย์แต่ละชนิด นอกจากนี้แล้วยังใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียว่าเป็นอย่างไร

2. การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีววิทยา (Biological Measuring)

การตรวจวัดดังกล่าวสามารถดำเนินการได้ทั้งในธรรมชาติ น้ำดื่ม น้ำเสีย ซึ่งจะเป็นการตรวจวัดอย่างคร่าวๆ หรือละเอียดก็ได้และอาจเป็นการตรวจโดยทางตรงหรือทางอ้อม การตรวจวัดคุณภาพน้ำทางชีววิทยานี้มักเป็นการวัดเพื่อหาปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำ เช่น การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง การหาสารปนเปื้อนจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในตัวอย่างน้ำ เป็นต้น

3. การวิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตัวอย่าง

เป็นการวัดปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างซึ่งอาจเป็นน้ำเสียหรือน้ำดื่มก็ได้ ส่วนใหญ่จะวัดโดยทางตรง ซึ่งการวัด โดยทางตรงในบางครั้งอาจจะยุ่งยากและอาจจะต้องใช้เวลา เช่น การนับจำนวนเซลล์จุลินทรีย์โดยตรงจากกล้องจุลทรรศน์ หรือการวัดโดยการทำให้เป็นตะกอนด้วย Plate Count Technique การวัดโดยการวัดน้ำหนักแห้งของจุลินทรีย์

4. การวัดปริมาณจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค (Pathogenic Microorganism or Bacteria)

เป็นการหาปริมาณและชนิดของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งสามารถหาได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

(ก) การตรวจวัดทางตรง เป็นการตรวจสอบหาชนิดหรือปริมาณของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรียต่างๆ โดยตรง แต่การตรวจสอบอาจยุ่งยากและเสียเวลา เช่น การทำการจำแนกชนิด (Taxonomy, Classification and Identification) การทดสอบทางชีวภาพ (Biochemical analysis)

(ข) การตรวจวัดทางอ้อม เป็นการตรวจวัดหาจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย (Bacteriological Indicators) เช่น การวัดหรือตรวจหาโคลิฟอร์มแบคทีเรียซึ่งเป็นตัวชี้ว่าน้ำดังกล่าวจะไม่ปลอดภัยในการอุปโภคและบริโภค วิธีการนี้รวดเร็วกว่าวิธีการแรกจึงเป็นที่นิยมใช้มาก

อนึ่ง การจะกำหนดให้แบคทีเรียตัวใดหรือกลุ่มใดเป็นแบคทีเรียชี้แนะนั้นต้องคำนึงถึงข้อกำหนดดังนี้

- แบคทีเรียดังกล่าวต้องอยู่ในน้ำตัวอย่างนั้น ขณะมีแบคทีเรียอันตรายที่ต้องการตรวจวิเคราะห์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์
- มีจำนวนแปรผัน โดยตรงกับปริมาณของแบคทีเรียอันตรายที่ต้องการตรวจวิเคราะห์
- สามารถอาศัยอยู่ในน้ำตัวอย่างนั้นได้นานกว่าแบคทีเรียอันตรายที่ต้องการตรวจวิเคราะห์
- ไม่ควรมีอยู่ในน้ำบริสุทธิ์
- ง่ายต่อการตรวจวัดหรือตรวจวิเคราะห์

วิธีการตรวจหาโคลิฟอร์มสามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมกันมากมีอยู่ 3 วิธีคือ วิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number, MPN or Multiple Tube Technique) วิธีเยื่อกรอง (Membrane filter) และวิธีนับจากจานเพาะเลี้ยงเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count)

1) **วิธีเอ็มพีเอ็น (Most Probable Number, MPN or Multiple Tube Technique)** การตรวจสอบโดยวิธีนี้มีอยู่ 3 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

(ก) **การตรวจสอบขั้นแรก (Presumptive test)** เป็นการทดสอบขั้นต้นของน้ำตัวอย่างโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวแลคโตสบรอก (Lactose broth) หลอดที่เกิดแก๊สหลังการบ่มเพาะเชื้อที่ 35°C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง แสดงว่าให้ผลบวก (Positive) หลอดที่ไม่เกิดแก๊สแสดงว่าให้ผลทางลบ (Negative) หลังจากนั้นให้นำหลอดที่แสดงผลบวกมาทำการทดสอบต่อในระดับการตรวจสอบขั้นยืนยัน

(ข) **การตรวจสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)** เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่าเป็นโคลิฟอร์มหรือไม่ โดยนำหลอดที่แสดงผลบวกมาทำการทดสอบ นำน้ำตัวอย่างในหลอดที่แสดงผลบวกไปเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวโดยบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมงการทดสอบในขั้นนี้อาจจะใช้อาหารแข็งก็ได้โดยดำเนินการเช่นเดียวกันกับอาหารทุกประการการตรวจวัดผลจะดูผลจากการเจริญเติบโตของเชื้อ โดยหากพบมีกลุ่มเซลล์ (Colony) เกิดขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ

(ค) **การตรวจสอบขั้นสมบูรณ์ (Complete test)** ถ้าย้ำน้ำตัวอย่างจากหลอดที่มีแก๊สหรือกลุ่มเซลล์บนอาหารแข็งในการตรวจสอบขั้นยืนยันมาเลี้ยงในหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อแลคโตสอาร์ (Lactose agar) ที่ 35°C เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง หากพบว่าหลอดอาหารเลี้ยงเชื้อมีแก๊สเกิดขึ้นแสดงว่าให้ผลบวก ถ้าไม่มีแก๊สแสดงว่าให้ผลลบ

2) **การตรวจหาโดยใช้เยื่อกรอง (Membrane filter)** วิธีนี้ใช้ตรวจหาทั้งโคลิฟอร์มและเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะได้ผลเร็วกว่าวิธีเอ็มพีเอ็น ข้อเสียของวิธีนี้คือ ใช้กับน้ำที่มีความขุ่นมากไม่ได้และอุปกรณ์ที่ใช้ต้องปราศจากเชื้อ วิธีการทดลองของวิธีนี้คือ การกรองเอาแบคทีเรียในน้ำตัวอย่างมากรองภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ นำแผ่นกรองที่มีแบคทีเรียติดอยู่มาใส่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ เพื่อให้แผ่นกรองดูดซับอาหารเลี้ยงเชื้อไว้ นำเยื่อกรองไปบ่มเพาะเชื้อ 35 °C เป็นเวลา 24-48 Hour และนำแผ่นกรองมานับจำนวน Colony ที่สะท้อนรังสีอาทิตย์เหลืองสีเขียว (Green Metallic Sheen) ซึ่งเป็น Colony ของโคลิฟอร์ม การตรวจหา *E.coli* จะเหมือนกับกรณีการตรวจหาโคลิฟอร์ม ต่างกันตรงอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวที่ใช้ คือจะใช้เอ็มเอฟซี (M-FC) แทน Colony ของ *E.coli* จะให้สีน้ำเงิน

3) การนับจากจานเพาะเชื้อมาตรฐาน (Standard Plate Count) วิธีนี้มีสิ่งสำคัญที่สุดคือ การหาอาหารเลี้ยงเชื้อให้เหมาะสมกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการนับหรือหา รวมทั้งการใส่สารยับยั้งลงไป ในอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อไม่ให้จุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ที่ไม่ต้องการวัด เช่น การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อสำหรับเชื้อรา ก็อาจจะมีสารที่ป้องกันหรือเชื้อแบคทีเรีย

2.2 สภาพแวดล้อมที่มีผลต่อจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำ [8, 9]

สภาพแวดล้อมทางกายภาพและเคมีมีผลต่อจำนวนจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำและจะแตกต่างกันออกไปตามแหล่งน้ำแต่ละชนิด ดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเร็วหรือช้า อุณหภูมิของน้ำที่ผิวดินแตกต่างกันมาก ที่ขั้วโลกอุณหภูมิ 0°C จนถึงบริเวณศูนย์สูตรมีอุณหภูมิ 30°C น้ำทะเลมากกว่า 90 % มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C จึงเหมาะกับการเจริญของไซโครไฟล์เท่านั้น ในน้ำพุร้อนบางแห่งมีอุณหภูมิ 75-80 °C ก็พบจุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้เป็นพวกเทอร์โมไฟล์ นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำยังเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลทำให้ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์เปลี่ยนแปลงไป ช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่วงอุณหภูมิในการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [9]

เชื้อจุลินทรีย์	อุณหภูมิในการเจริญโตของเชื้อจุลินทรีย์ (°C)		
	ต่ำสุด	เหมาะสม	สูงสุด
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	4	25-30	40
<i>Staphylococcus aureus</i>	6.5	30-37	46
<i>Thiobacillus thiooxidans</i>	10	28-30	37
<i>Micrococcus luteus</i>	10	30	45
<i>Lactobacillus plantarum</i>	15	30-35	45
<i>Corynebacterium diptheriae</i>	15	37	40
<i>Streptococcus thermophilus</i>	20	40-45	50
<i>Thermoactinomyces vulgaris</i>	27-30	60	65-70
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	30	35-36	38.5
<i>Thermus aquaticus</i>	40	70-72	79

2) ความกดดันของน้ำ (Hydrostatic Pressure)

น้ำผิวดินและน้ำในมหาสมุทรลึกๆ มีความกดดันต่างกัน ความกดดันของน้ำจะทำให้ pH ของน้ำทะเลลดลง ทำให้ความสามารถในการละลายสารอาหาร เช่น ไบคาร์บอเนตเปลี่ยนไปและจะทำให้จุดเดือดของน้ำสูงขึ้น ความกดดันของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความลึก คือ เพิ่มขึ้น 1 บรรยากาศทุก 10 m ในมหาสมุทรลึกตั้งแต่ 1,000 m จนถึง 10,000 m ก็ยังพบจุลินทรีย์ได้ ซึ่งเป็นพวกชอบความกดดันของน้ำ (Barophilic Microorganisms) แบคทีเรียจากทะเลจะทนความกดดันได้ดีกว่าพวกอยู่บนบก หรืออยู่ในน้ำจืด ความกดดันอาจมีผลทำให้รูปร่างของแบคทีเรียเปลี่ยนไป เชื้อบางชนิดจะสูญเสียแฟลกเจลลา และบางชนิดอาจจะเจริญอยู่ได้แต่ไม่สามารถแบ่งตัวต่อไป

3) ความเค็ม (Salinity)

ในน้ำทะเลที่มีความเค็มสูงและมักคงที่ ความเข้มข้นของเกลือจะอยู่ระหว่าง 33-37 g/kg ของน้ำ โดยเกลือส่วนใหญ่จะเป็นเกลือคลอไรด์ ซัลเฟตและคาร์บอเนตของโซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม ความเข้มข้นของเกลือที่ปากแม่น้ำและชายฝั่งจะมีน้อยกว่า จุลินทรีย์ในทะเลส่วนใหญ่จะเป็นพวกชอบความเค็มและจะเจริญเติบโตได้ดีที่ความเค็ม 2.5-4 % แต่จุลินทรีย์จากทะเลสาบและแม่น้ำจะไม่เจริญถ้ามีความเค็มมากกว่า 1 %

4) ความขุ่น (Turbidity)

แหล่งน้ำมีความขุ่นไม่เท่ากัน ในบริเวณทะเลลึกจะใส บริเวณใกล้ฝั่งแม่น้ำจะมีความขุ่น สารแขวนลอยที่ทำให้น้ำมีความขุ่นได้แก่ แร่ธาตุจากบนบก ซากสารอินทรีย์ เช่น เซลลูโลส ไลทินและจุลินทรีย์ที่แขวนลอย ความขุ่นของน้ำมีผลต่อการแพร่ผ่านของรังสีอาทิตย์ลงสู่แหล่งน้ำซึ่งมีผลต่อการสังเคราะห์รังสีอาทิตย์ด้วย สารที่เป็นอนุภาคจะเป็นชั้นสเตรตให้จุลินทรีย์มาเกาะและเป็นชั้นสเตรตที่จะถูกเมแทบอลิซึมต่อไป แบคทีเรียในทะเลหลายชนิดเจริญเติบโตได้เมื่อเกาะกับพื้นผิวที่แข็งเรียกว่า เอพิแบคทีเรีย (Epibacteria) หรือเพอริไฟต์ (Periphytes)

5) pH

จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำเจริญเติบโตที่ pH ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 แต่ pH ของน้ำทะเลอยู่ระหว่าง 7.5 ถึง 8.5 เมื่อเลี้ยงแบคทีเรียจากทะเลในอาหารจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดที่ pH 7.2 ถึง 7.6

6) สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ (Inorganic and Organic Constituents)

ชนิดของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำมีความสำคัญต่อชนิดของจุลินทรีย์ ในเตรตและฟอสเฟตเป็นสารอนินทรีย์ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ส่วนสารอินทรีย์ที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเชื้อราที่เป็นแซโทรไฟต์ แหล่งน้ำใกล้ชายฝั่งซึ่งได้รับของเสียจากบ้านเรือนจะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอาหารมากกว่าแหล่งน้ำในทะเลเปิดซึ่งปริมาณสารอาหารต่ำมากและค่อนข้างคงที่ ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีสารยับยั้งจุลินทรีย์ในแหล่งน้ำใกล้ชายฝั่งได้ โลหะบางชนิด เช่นปรอทและโลหะหนักอื่นๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อยก็อาจ

ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ได้ ในขณะที่เดียวกันก็ส่งเสริมการเจริญของเชื้อที่ต้านทานได้ซึ่งมีอาร์พลาสมิด (R. Plasmid, Resistance Plasmid)

7) รังสีอาทิตย์ (Radiation) [9]

ถึงแม้แสงสว่างจะจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้บางชนิด เช่น กรีนซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Green Sulfur Bacteria) และเพอเพิลซัลเฟอร์ (Purple Sulfur Bacteria) แต่แบคทีเรียส่วนใหญ่ไม่ต้องการแสง จากการทดลองใช้แผ่นกรองแสงสีต่างๆ พบว่าแสงสีแดง ส้ม เหลือง ไม่ทำอันตรายต่อแบคทีเรีย แต่แสงสีฟ้า สีม่วงและสีดำน่าส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญได้และพบว่ารังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตมีผลในการทำลายแบคทีเรียได้

รังสีอาทิตย์ที่มีผลในการทำลายจุลินทรีย์มี 2 ชนิดคือ

1. รังสีอาทิตย์ที่เกิดจากการแตกตัวเป็นไอออน (Ionizing Radiation)

เป็นรังสีอาทิตย์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของไอออน โดยรังสีอาทิตย์มีพลังงานไปถึงอิเล็กตรอนออกจากสาร ได้แก่ รังสีอาทิตย์เอกซ์ รังสีอาทิตย์แกมมา รังสีอาทิตย์นี้สามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ แต่ยังไม่นิยมใช้เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายสูง

2. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสูง

ได้แก่ รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ต ผลของการฉายรังสีอาทิตย์ มีผลสองประการคือ ทำให้จุลินทรีย์ตายและจุลินทรีย์ที่รอดตายเกิดการผ่าเหล่า (Mutation) มีผลทำให้ได้เซลล์ที่มีลักษณะแตกต่างไปจากพันธุ์เดิม เช่น ต้านทานต่อแบคทีริโอเฟจ มีความสามารถในการหมัก ความสามารถในการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมแทบอลิซึมเปลี่ยนไป รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) มีความยาวคลื่นตั้งแต่ $150 \text{ \AA} - 3900 \text{ \AA}$ แต่ความยาวคลื่นในช่วง 2650 \AA มีประสิทธิภาพในการฆ่าแบคทีเรียสูงสุด โดยที่สารประกอบพวกพิวรีนและพิริมิดีนดูดซับรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตที่ 2600 \AA และพวกอะมิโนชนิดอโรมาติก (Aromatic Amino Acid) ดูดซับรังสีอาทิตย์ที่ 2800 \AA การดูดซับรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบนิวคลีโอโปรตีน จึงทำให้จุลินทรีย์ตายได้ แหล่งของรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตที่สำคัญคือ รังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ ถึงแม้รังสีอาทิตย์ช่วงคลื่นสั้นๆ จะถูกกรองไว้ที่ชั้นบรรยากาศของโลกก็ตาม รังสีอาทิตย์อาทิตย์ก็ยังมีความสามารถในการฆ่าจุลินทรีย์ได้ รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตมีความสามารถในการทะลุทะลวงต่ำ จึงสามารถฆ่าจุลินทรีย์เฉพาะพื้นผิววัตถุเท่านั้น

2.3 น้ำเสีย (Wastewater หรือ Sewage)

น้ำเสียเป็นน้ำที่มีสารหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่พึงปรารถนาปะปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ ทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน พงค์ฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่างๆ สำหรับแหล่งที่มาของมลพิษทางน้ำ ส่วนใหญ่มาจากน้ำเสียของแหล่งชุมชน จากกิจกรรมสำหรับการดำรงชีวิตของคนเรา เช่น อาคารบ้านเรือน หมู่บ้านจัดสรร คอนโดมิเนียม โรงแรม ตลาดสด โรงพยาบาล และแหล่งอื่นๆ เป็นต้น [16]

2.3.1 องค์ประกอบของน้ำเสีย [14]

ลักษณะน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1) กลิ่น (Odor)

กลิ่นจากน้ำเสียส่วนมากมาจากก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ก๊าซส่วนใหญ่แล้วจะเป็นก๊าซไข่เน่า (H_2S) ซึ่งเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนได้ทำการเปลี่ยนสภาพของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ส่วนสารอื่นๆ ที่สามารถทำให้เกิดกลิ่นไม่ดีเนื่องจากอยู่ในสภาพไร้ออกซิเจนในน้ำเสียได้

2) อุณหภูมิ (Temperature)

น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งต่างๆ โดยมากจะมีอุณหภูมิสูงกว่าปกติและเมื่อปล่อยทิ้งไปลงสู่แม่น้ำ ลำคลองจะทำให้สภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำนั้นๆ เปลี่ยนไปได้ดังนี้

- (ก) น้ำในแม่น้ำลำคลองนี้จะมีปริมาณของออกซิเจนลดลงกว่าปกติ เพราะค่าอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น
- (ข) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปฏิกิริยาชีวเคมีของพวกจุลินทรีย์ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหมายความว่าออกซิเจนในน้ำได้ถูกใช้เพิ่มมากขึ้น เช่น ในฤดูร้อนน้ำในแม่น้ำ ลำคลองจะมีปริมาณออกซิเจนน้อยกว่าในฤดูหนาว
- (ค) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกินกว่าปกติ การเจริญเติบโตของพืชที่ก่อให้เกิดปัญหาหามลพิษทางน้ำจะมีมากกว่าปกติและอาจเกิดราในแหล่งน้ำได้

3) ความขุ่น (Turbidity)

สารแขวนลอยที่ลอยอยู่ในน้ำจะกั้นหรือขวางรังสีอาทิตย์อาทิตย์ไม่ให้ส่องลงใต้น้ำได้มากถึง 100% เช่นเดียวกันกับสี น้ำที่มีความขุ่นมากจะทำให้ยากต่อการกรองน้ำในโรงผลิตน้ำประปาและต้องใช้ปริมาณคลอรีนมากกว่าปกติสำหรับฆ่าเชื้อโรคในน้ำ

4) สารอินทรีย์

ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก ซึ้นเนื้อ สิ้นตัน ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้ โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปะปนอยู่มาก และสภาพเน่าเหม็นจะเกิดขึ้นได้ง่าย

5) ปริมาณของแข็ง (Solids)

ปริมาณของแข็งทั้งหมดจะประกอบด้วย ปริมาณของแข็งที่แขวนลอย (Total Suspended solids) และ ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids) ปริมาณของแข็งทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ประโยชน์ของการทราบค่าปริมาณของแข็งต่างๆ

6) สารอนินทรีย์

แร่ธาตุต่าง ๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ คลอไรด์, ซัลเฟต เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ประโยชน์ของข้อมูลค่าปริมาณของแข็งที่มีต่อการบำบัดน้ำเสีย

ค่าปริมาณของแข็ง	ประโยชน์ของข้อมูล
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS, Total Solids)	สามารถรู้ค่าความหนาแน่นของน้ำเสียได้ว่ามีค่าสูงหรือต่ำ
ปริมาณของแข็งที่แขวนลอย (TSS, Total Suspended Solids)	บ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียและบอกถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ ได้
ปริมาณของแข็งที่ตกตะกอนได้ (Settleable Solids)	ใช้ประมาณค่าปริมาณของตะกอนที่ถูกกำจัดและยังสามารถบอกถึงประสิทธิภาพถึงตกตะกอนได้
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (TDS, Total Dissolved Solids)	สามารถบอกปริมาณของธาตุเกลือในน้ำเสียได้ เช่น คลอไรด์
ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้ (VS, Volatile Solids)	สามารถบอกปริมาณอย่างประมาณของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

7) โลหะหนักและสารพิษ

อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอท โครเมียม ทองแดง ปกติจะอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชที่ปนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับในเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษนี้มาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล เป็นต้น

8) น้ำมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ

เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการกระจายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ นอกจากนั้นยังทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

9) จุลินทรีย์น้ำเสียจากโรงฟอกหนัง

โรงฆ่าสัตว์หรือโรงงานอาหารกระป๋อง จะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมากจุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตสามารถลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

10) ชาติอาหาร

ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย(Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ

2.3.2 การเก็บและกักตัวอย่างน้ำเสีย [7, 14]

1. การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำเป็นสิ่งที่สำคัญมากสิ่งหนึ่ง ที่ต้องระมัดระวังในการเก็บ เพราะถ้าขั้นตอนการเก็บไม่ถูกต้องหรือไม่ระมัดระวังแล้วข้อมูลที่ได้รับมาอาจทำให้งานล้มเหลวไปหมดก็ได้ ปัจจัยที่จะทำให้ได้ข้อมูลที่ดีในการเก็บตัวอย่างของน้ำเสียมี 3 ปัจจัยด้วยกันคือ

- (ก) ต้องแน่ใจจริงๆ ว่าตัวอย่างที่ถูกเก็บมานี้เป็นตัวแทนของน้ำเสียทั้งหมด
- (ข) ใช้วิธีการหรือเครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำอย่างถูกต้อง
- (ค) การกักตัวอย่างน้ำก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ ต้องทำให้ถูกต้อง

2. ตำแหน่งสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำ

ตำแหน่งสำหรับการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย ควรพิจารณาตามหลักต่อไปนี้

- (ก) ในที่ระบายน้ำเสีย หรือรางระบายน้ำเสียควรที่จะเก็บตัวอย่างของน้ำที่ระดับความลึก 2/3 ของระยะความลึกของน้ำ
- (ข) ความเร็วของน้ำที่ไหลบนจุดที่จะเก็บ ควรจะมีอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนนอนก้น
- (ค) การเก็บตัวอย่างไม่ควรกวาดหรือทำให้น้ำบริเวณนั้นปั่นป่วนเพราะ อาจทำให้ก๊าซเดิมที่ละลายอยู่ในน้ำหนีออกไปได้ ทำให้ไม่ได้ตัวอย่างของน้ำที่ต้องการได้

3. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง

ในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างน้ำควรจะมีช่วงเวลาที่สั้นพอที่จะได้รับตัวอย่างน้ำที่ถูกต้อง ยังมีช่วงเวลาสั้นเท่าใดยิ่งดีเท่านั้น อย่างเช่น ทุกๆ 10 หรือ 15 นาที จะเป็นช่วงเวลาที่แนะนำว่าละเอียดพอเพียงในการเก็บตัวอย่างน้ำในรอบของการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่มาจากแหล่งชุมชนหรืออุตสาหกรรม

2.4 ประเภทของน้ำเสีย (Types of wastewater) [7, 14, 16]

การแบ่งประเภทของน้ำเสียสามารถแบ่งได้หลายรูปแบบ เช่น แบ่งตามแหล่งกำเนิดน้ำเสีย (Source of wastewater) หรือแบ่งตามชนิดของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Types of impurities) การแบ่งตามประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด (Classification by source of wastewater) การแบ่งประเภทของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิดมักเป็นที่นิยมใช้กันมาก ทั้งนี้ทำให้ทราบถึงแหล่งที่มาของน้ำเสีย รวมทั้งสิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วย [17]

การแบ่งประเภทของน้ำเสียโดยวิธีการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. **น้ำเสียชุมชน (Domestic wastewater)** น้ำเสียจากแหล่งชุมชนหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำโสโครก (Sewage) ได้แก่ น้ำที่มาจากชุมชน บ้านเรือนที่พักอาศัย อาคาร ร้านค้า ภัตตาคาร โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย ตลอดจนการประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียเหล่านี้มักปนเปื้อนสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอก สบู่และสารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบในผงซักฟอก ตลอดจนจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งอาจจะมีน้ำที่เป็นจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ทั่วไป
2. **น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural)** น้ำเสียจากทางเกษตรเป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมาจากพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางเกษตรกรรมไม่ว่าจะเป็นพื้นที่เพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ สิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มาจากพื้นที่เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่มักจะเป็นเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมาจากเศษอาหารสัตว์และสิ่งขับถ่ายออกมาจากสัตว์ ซึ่งน้ำเสียส่วนนี้จะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ค่อนข้างสูง รวมทั้งอาจมีความเข้มข้นของแข็งไม่ละลายน้ำสูงด้วย
3. **น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)** น้ำเสียอุตสาหกรรมจะเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันและปริมาณสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนก็แตกต่างกันด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม วัตถุประสงค์ที่ใช้ตลอดจนขบวนการผลิตที่ใช้ โดยสิ่งปนเปื้อนอาจเป็นสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ หรืออาจเป็นทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ก็ได้

2.5 ลักษณะน้ำเสียจากแหล่งชุมชน [15, 16]

ลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือนมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกิจกรรมการใช้น้ำและช่วงเวลาของการเกิดน้ำเสีย เช่น น้ำเสียจากครัว (การประกอบอาหาร การล้างภาชนะ) จะมีเศษอาหารไขมันและน้ำมันเจือปนเป็นหลัก และน้ำเสียที่เกิดจากการซักล้างหรือการอาบน้ำ จะมีสบู่ สารซักฟอก สำหรับน้ำเสียจากส้วมจะมีสิ่งปฏิกูลและแอมโมเนียเจือปนอยู่ในน้ำเสียด้วย ซึ่งลักษณะน้ำเสียที่เกิดจากบ้านเรือนประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ แบ่งออกเป็นลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีววิทยา ดังนี้

1) ทางกายภาพ

ของแข็งในน้ำเสียอยู่ในรูปของของแข็งที่สามารถตกตะกอนได้ ของแข็งแขวนลอยและของแข็งละลายน้ำ สำหรับของแข็งซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่สามารถตกตะกอนในแหล่งน้ำได้ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในแหล่งน้ำและส่งผลกระทบต่อให้เกิดสภาวะไม่มีออกซิเจนได้น้ำได้ รวมทั้งเกิดการสะสมของตะกอนของแข็งที่ย่อยสลายได้ช้า ทำให้แหล่งน้ำเกิดการตื้นเขิน มีความขุ่นสูง และมีผลกระทบต่อการค้ารังสีของสัตว์น้ำ

2) ทางเคมี

(ก) สารอินทรีย์ สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน ซึ่งเกิดจากเศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว น้ำแกง เศษใบตอง พืชผัก เป็นต้น สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำ (Dissolved Oxygen) ลดลงจนเกิดสภาพเน่าเหม็นได้ ปริมาณของสารอินทรีย์ในน้ำนิยมนวัดด้วยค่าบีโอดี (BOD) เมื่อค่าบีโอดีในน้ำสูง แสดงว่าสารอินทรีย์ปะปนอยู่มากก่อให้เกิดการเน่าเหม็นได้ง่าย

(ข) สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจไม่ทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดสภาพน้ำปนเปื้อนหรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา เช่น คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟต เป็นต้น

(ค) โลหะหนักและสารพิษ โดยปกติโลหะหนักและสารพิษที่จะปะปนมากับน้ำเสียจากบ้านเรือนมีปริมาณที่น้อยมากหรือตรวจไม่พบ ซึ่งหากพบในแหล่งชุมชนอาจมาจากอุตสาหกรรมในครัวเรือนบางประเภทเช่น ร้านชุบโลหะ อู่ซ่อมรถ หรือจากการใช้ยาฆ่าแมลง เป็นต้น

(ง) น้ำมันและไขมัน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากพืชและสัตว์ที่ใช้ในการทำอาหาร สบู่จากการอาบน้ำ ฟองสารซักฟอกจากการชำระล้าง สารเหล่านี้มีน้ำหนักเบาและลอยน้ำ ทำให้เกิดสภาพไม่นำดูและขัดขวางการถ่ายเทออกซิเจนจากอากาศสู่แหล่งน้ำ ทำให้ส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำและคุณภาพน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มค่าความสกปรกในน้ำ

(จ) สารลดแรงตึงผิว/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการกระจายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

(ฉ) ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโต และเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วของสาหร่าย (Algae Bloom) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ระดับออกซิเจนในน้ำลดลงต่ำมากในช่วงกลางคืน อีกทั้งยังทำให้เกิดวัชพืชน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ ไนโตรเจนเป็นธาตุจำเป็น ในการสร้างเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไนโตรเจนจะเปลี่ยนสภาพเป็นแอมโมเนีย ถ้าหากในน้ำมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกย่อยสลายเป็นไนไตรต์และไนเตรท ดังนั้น การปล่อยน้ำเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนสูงจึงทำให้ออกซิเจนที่มีอยู่ในลำน้ำลดน้อย

(ช) ซัลไฟด์ (Sulfide) เป็นสารประกอบของกำมะถัน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโปรตีนเช่น เนื้อสัตว์ และมีอยู่ในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน โดยเฉพาะจากอุจจาระ เมื่อสารประกอบอินทรีย์จากเศษอาหารทั้งพืชและสัตว์ถูกจุลินทรีย์ย่อยในสภาวะไม่มีอากาศ เช่น ในบ่อส้วม หรือห้องร่อนน้ำครำ จะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซึ่งมีกลิ่นเหม็น แต่ถ้าหากมีออกซิเจนพอเพียงก็จะถูกแปรสภาพต่อไปเป็นสารที่มีชื่อเรียกว่า “ซัลเฟต” ซึ่งไม่มีกลิ่น ดังนั้น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จึงมักมีกลิ่นเหม็นอันเกิดจากก๊าซไข่เน่านี้

3) ทางชีวภาพ

น้ำเสียจากบ้านเรือนมีจุลินทรีย์จำนวนมากปะปนมากับน้ำเสีย เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา โปรโตซัว ไวรัส เป็นต้น ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะทำให้ออกซิเจนในน้ำมีปริมาณลดลงได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดสภาพน้ำเหม็น และจุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชนได้

2.6 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) [18]

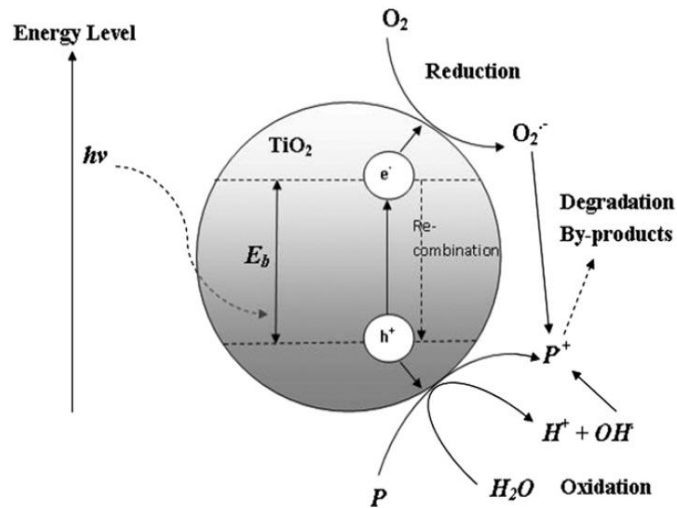
กระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เป็นกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำและอากาศให้มีความบริสุทธิ์ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส มาประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์และโลหะหนักบางชนิดในน้ำเสีย กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสเริ่มจากการให้ระบบซึ่งรวมถึงสารเคมีเคมีต่างๆ ในระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะเกิดการเกาะหรือดูดติดผิว (Adsorption Process) ของสารปนเปื้อนบนไททาเนียมไดออกไซด์เกิดขึ้น ในขณะที่เข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นจึงเป็นการฉายแสง (Irradiation Process) ซึ่งทำให้สารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสียเหล่านี้สลายหรือถูกกำจัดออกไป โดยรายละเอียดของทั้งสองส่วนอธิบายได้ดังนี้

2.6.1 การเกาะหรือดูดติดผิว (Adsorption Process) [18]

กระบวนการเกาะหรือดูดติดผิวจะเกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความสามารถของสารตัวกลางในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซ มาเกาะจับและติดบนผิวของสารตัวกลางนั้นๆ กระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นที่สภาวะ 2 สภาวะใดๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่ถูกดูดจับ เรียกว่า สารถูกดูดจับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารถูกดูดจับ เรียกว่า สารดูดจับ (Adsorbent) กระบวนการดูดติดผิวนี้จะไม่รวมถึงกระบวนการตกตะกอนที่พื้นผิว (Surface Precipitation Process) หรือกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization Process) ซึ่งหากไม่มีการระบุที่ชัดเจนว่ากลไกที่ทำให้ความเข้มข้นของสารลดลงไปนั้น เกิดจากกระบวนการดูดจับ กระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชัน หรือกระบวนการอื่นๆ แล้ว อาจเรียกกระบวนการนี้ว่า Sorption Process กระบวนการดูดติดผิวเป็นกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี ซึ่งกระบวนการดูดติดผิวทางกายภาพนั้นเป็นผลที่ได้มาจากแรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waal's Force) และแรงทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Force)

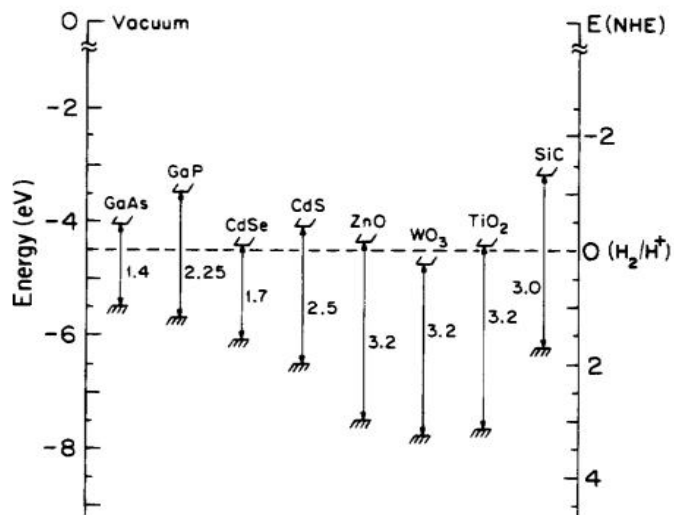
2.6.2 กระบวนการฉายแสง (Irradiation Process) [18]

การฉายแสงในกระบวนการ โฟโตคะตะไลซิส เป็นการฉายแสงซึ่งมีพลังงานเท่ากับหรือสูงกว่าช่องว่างพลังงาน (Energy Band Gap) บนผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นเปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ (Valence band) ไปยังแถบการนำไฟฟ้า (Conduction Band) เกิดภาวะขาดแคลนอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่า โฮล (Hole) แทนด้วยสัญลักษณ์ h^+ ส่วนอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นไปอยู่ในแถบการนำไฟฟ้า แทนด้วยสัญลักษณ์ e^- แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งจะช่วยให้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถรับและให้อิเล็กตรอนกับสารอื่นในน้ำและอากาศได้ อย่างไรก็ตาม h^+ และ e^- สามารถกลับมาอยู่ในสภาวะเดิมได้อีก เรียกว่า รีคอมบิเนชัน (Recombination) ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส



รูปที่ 2.4 กระบวนการโฟโตคะตะไลส์สบนอนุภาคตัวเร่งปฏิกิริยา [19]

อิเล็กตรอนย้ายจากแถบการนำไฟฟ้าไปสู่ตัวรับอิเล็กตรอน (Acceptor) ในสารละลายเรียกว่ารีดักชัน (Reduction) และอิเล็กตรอนจากผู้ให้ (Donor) ในสารละลายไปสู่โฮลในแถบวาเลนซ์เรียกว่าออกซิเจน (Oxidation) ซึ่งโฮลที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี (Strong Oxidation) ดังนั้นหากค่าช่องว่างพลังงานน้อยเกินไปจะทำให้เกิดรีคอมบิเนชัน ค่าช่องว่างของพลังงานระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบคอนดักชันจะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง โดยตัวกลางแต่ละชนิดจะมีค่าช่องว่างของพลังงานแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าช่องว่างพลังงานกับสารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ [20]

2.7 ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide) [18]

ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียม ซึ่งอยู่ในกลุ่มโลหะทรานซิชันแถวแรกตารางธาตุ TiO_2 ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์สำหรับการใช้งานด้านต่างๆ เนื่องจากมีความเสถียรต่อสารเคมี ไม่มีความเป็นพิษ และราคาไม่แพงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์เป็นพลังงานรูปอื่น เช่น การเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ (Solar Cell) และการเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้รังสีอาทิตย์ร่วม (Photo catalysis) เป็นต้น เนื่องจาก TiO_2 มีค่าดัชนีการหักเหของรังสีอาทิตย์สูงจึงถูกนำมาใช้เป็นสารเคลือบ ป้องกันการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ ซิลิกอน (Silicon Solar Cell) และในอุปกรณ์ทางการมองเห็นชนิดแผ่นบาง (Thin film optical device) หลายชนิด รวมทั้ง TiO_2 ยังถูกนำมาใช้เป็นตัวตรวจสอบก๊าซ (Gas sensor) เนื่องจากมีค่าการนำไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปได้ตามองค์ประกอบของก๊าซที่สภาวะบรรยากาศ นอกจากนั้น TiO_2 จะมีประสิทธิภาพสูง ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้รังสีอาทิตย์ร่วมด้วย ยังสามารถนำมาใช้ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช้รังสีอาทิตย์ร่วมด้วย) ได้ดีอีกด้วย โดยสามารถใช้เป็นทั้งตัวเพิ่มความสามารถในการทำปฏิกิริยา (Promoter) ซึ่งกระบวนการที่ใช้ TiO_2 ในกระบวนการเร่งปฏิกิริยา เช่น การกำจัดสารประกอบออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) การกำจัดสารอินทรีย์แบบระเหยง่าย เป็นต้น

TiO_2 เป็นสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเหมาะสมในการประยุกต์ใช้เพื่อการบำบัดทางสิ่งแวดล้อม เนื่องจาก TiO_2 มีความคงตัว ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และไม่เปลี่ยนรูปเมื่อเกิดปฏิกิริยาสมบัติของ TiO_2 ที่มีอยู่ในธรรมชาติมีรูปแบบของผลึกอยู่ 3 รูปแบบได้แก่ คือ

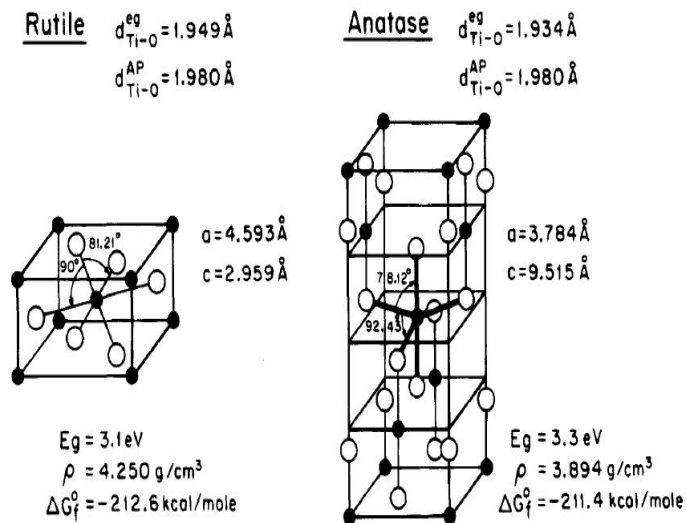
- 1) **รูไทต์ (Rutile)** สามารถโน้มน้าวให้มีเสถียรภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิสูงๆ ชนิดของไททาเนียมไดออกไซด์ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนมากจะเป็นรูไทต์ เกือบทุกโรงงาน เช่น โรงงานสี โรงงานทำเครื่องสำอาง โรงงานทำอาหาร และบางครั้งพบในหินอัคนี
- 2) **อนาเทส (Anatase)** สามารถโน้มน้าวให้มีเสถียรภาพมากที่สุดที่อุณหภูมิต่ำกว่ารูไทต์ ผลึกประเภตินี้ นิยมใช้ในกระบวนการใช้แสงขั้นสูง
- 3) **บรูคไคต์ (Brookite)** เป็นผลึกที่พบในแร่เท่านั้น และมีโครงสร้างผลึกแบบออร์ทอโรมบิก (Orthorhombic)

โครงสร้างผลึกอนาเทส รูไทล์และบรูคไคต์ ที่สามารถแสดงได้ในรูปของ TiO_2 ที่มีรูปร่างเป็นพีระมิดฐานสี่เหลี่ยมสองอันประกอบกันหรือเรียกว่า ออกตะฮีดรอล (Octahedral) โดยโครงสร้างผลึกทั้ง 3 ชนิดนี้มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการบิดตัวและรูปแบบการเรียงตัวที่ต่างกันของแต่ละโครงสร้างออกตะฮีดรอลที่เรียงต่อกัน ถึงแม้ว่าโครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์มีอยู่หลายชนิด ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่อนาเทสและรูไทล์เป็นโครงสร้างผลึกที่พบส่วนใหญ่ โดยปกติแล้วโครงสร้างแบบอนาเทสสามารถเปลี่ยนโครงสร้างเป็นรูไทล์ได้ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ธรรมนัญ 2008) นับจนถึงปัจจุบัน ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากอนาเทสไปเป็นโครงสร้างผลึกรูไทล์เป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างผลึกของไททานเนียมไดออกไซด์เป็นตัวแปรที่สำคัญมากที่จะกำหนดประสิทธิภาพในการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้าน ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้รังสีอาทิตย์ร่วม ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบปกติ (ไม่ใช่รังสีอาทิตย์ร่วม) หรือเซรามิกที่ใช้ทำเยื่อแผ่นบาง (Membrane) โดยนอกจากอุณหภูมิแล้ว ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนโครงสร้างผลึกดังกล่าว ได้แก่ ความดัน ปริมาณของผลึก ความไม่สมบูรณ์และขนาดของผลึก เป็นต้น

โครงสร้างผลึก TiO_2 ที่นำมาประยุกต์ใช้ในด้านของกระบวนการเร่งปฏิกิริยาแบบใช้รังสีอาทิตย์ร่วม จะนิยมใช้โครงสร้างทั้งสองชนิด สำหรับปฏิกิริยาแบบใช้รังสีอาทิตย์ร่วมโดยปกติ นั้น โครงสร้างผลึกแบบอนาเทสจะให้ประสิทธิภาพในการใช้งานมากกว่าโครงสร้างผลึกรูไทล์

เฟสของฟิล์ม TiO_2 ต่างชนิดกันจะมีประโยชน์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น ฟิล์มบาง TiO_2 เฟสอนาเทส จะมีสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาของแสงที่สมบูรณ์จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับการป้องกันสิ่งแวดล้อม เช่น กระจกที่มีสมบัติของโฟโตคะตะซิซ ส่วนฟิล์ม TiO_2 ในเฟसरูไทล์ จะมีความสามารถในการทำอุปกรณ์ที่ใช้ในร่างกาย เช่น ลิ้นหัวใจเทียม เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของ TiO_2 ระหว่างรูไทล์และอนาเทส ดังตารางที่ 2.3 TiO_2 เป็นสารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งค่าช่องว่างพลังงานมีค่าใกล้เคียงกับค่าพลังงานกระตุ้นของรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเลต ($\sim 380\text{ nm}$) ซึ่งตัว TiO_2 นั้นมีสมบัติพิเศษทางด้านดูดซับแสงและการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนได้ดี ไม่ถูกแสงทำลาย ไม่ละลายน้ำ นำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีเสถียรภาพทางเคมีสูง ไม่เป็นพิษ และราคาถูก สำหรับสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น สังกะสีออกไซด์ และแคดเมียม(II) ซัลไฟด์ ก็มีสมบัติใกล้เคียงกับ TiO_2 แต่ไม่นิยมนำมาใช้เนื่องจากมีความเป็นพิษ และเกิดการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาการฉายแสง [12] ส่วนผลึกที่นำมาใช้ในด้าน การบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ชนิดคือ อนาเทส (Anatase) และรูไทล์ (Rutile) รูปโครงสร้างโมเลกุล ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของไททานเนียมไดออกไซด์ชนิดผลึกรูไทล์และอนาเทส [20]

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของไททานเนียมไดออกไซด์ระหว่างรูไทล์และอนาเทส [12]

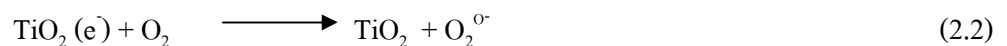
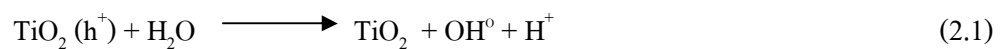
ลักษณะสมบัติ	รูไทล์	อนาเทส
1. รูปร่างผลึก	ออโรมบิก	ออโรมบิก
2. ค่าช่องว่างพลังงาน (eV)	3.030	3.200
3. มาตรฐานความแข็งของโมห์ (Mohs)	6.0-7.0	5.5-6.0
4. ความหนาแน่น (g/cm ³)	4.250	3.894
5. พลังงานอิสระ (Kcal/mol)	-212.6	-211.4
6. ค่าคงตัวแลตทิซ, a (Å ⁰)	4.593	3.784
7. ค่าคงตัวแลตทิซ, c (Å ⁰)	2.959	9.515
8. จุดหลอมเหลว (°C)	1858	เปลี่ยนโครงสร้างเป็นรูไทล์ที่อุณหภูมิ ~ 800

นอกจากนี้ TiO_2 มีสมบัติพิเศษคือไม่แสดงประจุใดๆ ขณะที่ยังไม่ได้รับการกระตุ้น แต่หากถูกเหนี่ยวนำโดยสิ่งแวดล้อมจะทำให้แสดงประจุชนิดเดียวกันกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งแตกต่างจากคอลลอยด์ตามธรรมชาติที่แสดงประจุลบ เช่น หากใส่ TiO_2 ลงในน้ำที่มีค่า pH ต่ำๆ ซึ่งในน้ำมีประจุบวกอยู่มาก ทำให้ TiO_2 ถูกเหนี่ยวนำให้ประจุกลายเป็นบวก ด้วยสมบัติเช่นนี้จึงทำให้ TiO_2 ช่วยกำจัดมลพิษในน้ำเสียได้ด้วยการดูดซับไว้ที่ผิวเร่งปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน [12]

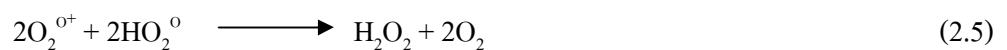
ประสิทธิภาพของ TiO_2 นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและสัดส่วนของผลึกอนาเทสต่อรูไทล์ซึ่ง Yu และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพของฟิล์มบาง TiO_2 ที่มีสัดส่วนผลึกอนาเทสต่อรูไทล์ต่างกัน โดยนำฟิล์มไปทดสอบการสลายเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส พบว่า ฟิล์ม TiO_2 ที่มีสัดส่วนผลึกอนาเทสมากที่สุด จะมีค่าคงที่ในการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายเมทิลออเรนจ์มากที่สุด และค่าคงที่ในการเกิดปฏิกิริยาจะลดลงเมื่อฟิล์มบาง TiO_2 มีสัดส่วนอนาเทสลดลง ซึ่งโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมีประสิทธิในการกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำสูงกว่าผลึกแบบรูไทล์ เนื่องจากมีความแตกต่างของระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Band Gap Energy) ของผลึกอนาเทส (3.20 eV) สูงกว่าผลึกรูไทล์ (3.03 eV) นอกจากนี้ Zhao และคณะ [22] พบว่า การมีรูไทล์ผสมอยู่ 33% ทำให้ประสิทธิภาพในส่วนของการโฟโตคะตะไลซิสสูงขึ้น เนื่องจากแถบช่องว่างพลังงานทั้งสองช่วยลดอัตราการเกิดการรวมตัวกันของ e^- และ h^+ ซึ่งรูไทล์จะช่วยป้องกันการเกิดรีคอมบิเนชันของอนาเทสและป้องกัน h^+ จากอนาเทสที่ผิว ปัจจุบันนิยมใช้ TiO_2 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสมากกว่าแบบอื่น แต่สำหรับ TiO_2 นิยมผลิตโดยบริษัทในประเทศเยอรมันนี้ จะมีผลึกอนาเทสและรูไทล์รวมกันในสัดส่วนอนาเทสต่อรูไทล์ประมาณ 80:20 [12]

2.8 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสของไททานเนียมไดออกไซด์ [12]

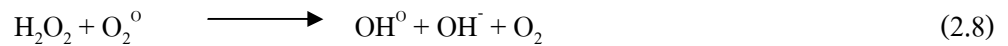
เมื่อ TiO_2 ถูกกระตุ้นด้วยรังสีอาทิตย์ที่มีระดับพลังงานเท่ากับหรือมากกว่าค่าช่องว่างพลังงานเพื่อกระตุ้นให้อิเล็กตรอนบริเวณแถบวาเลนซ์ของอนุภาคไททานเนียมไดออกไซด์ จะส่งผลให้ไททานเนียมไดออกไซด์เกิดสถานะที่ถูกกระตุ้น เป็นผลให้อิเล็กตรอน (e^-) ถูกกระตุ้นจากแถบบริเวณวาเลนซ์ไปสู่แถบคอนดักชัน และเกิดโฮล (h^+) ซึ่งเป็นช่องว่างที่ไม่มีอิเล็กตรอน ในบริเวณแถบวาเลนซ์ ดังสมการที่ 2.1-2.2 และแสดงผังรูปที่ 2.4



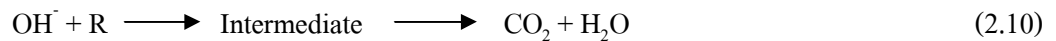
ซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลอ็อกซิเจนสามารถที่จะทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ดังสมการ 2.3-2.6



ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่ดี สามารถทำปฏิกิริยากับ e^-_{cb} เกิดเป็นเรดิคัล ดังสมการที่ 2.7-2.9 การเกาะติดของ H_2O_2 เพื่อเข้าทำปฏิกิริยาทำให้ได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล และมีการหมุนเวียนในการเข้าทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา

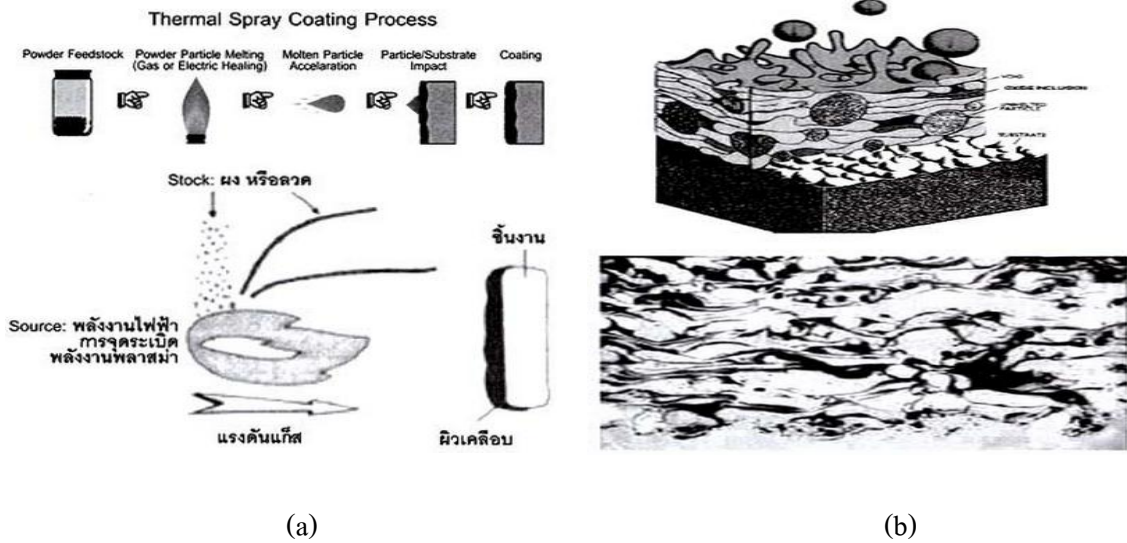


ไฮดรอกซิลเรดิคัลเป็นตัวรับอิเล็กตรอนที่มีความไวในการทำปฏิกิริยาสูง และทำหน้าที่สลายโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่ดูดติดผิวของ TiO_2 โดยสลายเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) และกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เมื่อเกิดปฏิกิริยาสมบรูณ์ ดังสมการที่ 2.10



2.9 การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal Spray) [23]

การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal Spray) เป็นกรรมวิธีทางวิศวกรรมพื้นผิวโดยมีกระบวนการที่ให้ความร้อนแก่วัสดุที่ต้องการพ่นเคลือบบนผิวชิ้นงาน วัสดุอาจจะอยู่ในรูปของผง เส้นลวด หรือแท่ง วัสดุสำหรับพ่นอาจเป็น โลหะ เซรามิกส์ และวัสดุผสมลักษณะอื่นๆ ซึ่งแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการพ่นเคลือบอาจได้จากการสันดาปของก๊าซ อาร์คไฟฟ้า หรือเปลวพลาสมา หลักการทำงานของกระบวนการนี้ เมื่ออนุภาคของวัสดุจะถูกผ่านเข้าสู่เปลวความร้อนและจะถูกพัดพาไปตกบนผิวชิ้นงานที่ต้องการเคลือบ ขณะที่อนุภาควัสดุเคลื่อนที่ผ่านเปลวความร้อนจะทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกิดการหลอมละลาย ในบางกรณีอนุภาคดังกล่าวจะหลอมละลายเพียงบางส่วนหรือไม่หลอมละลาย อนุภาควัสดุจะถูกขับเคลื่อนให้มีความเร็วสูงพุ่งกระทบ ไปกระทบผิวชิ้นงานอย่างต่อเนื่องและกลายเป็นผิวเคลือบในที่สุด ลักษณะของอนุภาคที่หลอมเหลวเมื่อตกกระทบผิวชิ้นงาน กล่าวคือวัสดุที่หลอมเหลวจะมีรูปร่างแบนราบในด้านที่ติดกับผิวชิ้นงาน ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากอนุภาคไปสู่ผิวชิ้นงาน การแข็งตัวจะเกิดขึ้นในส่วนที่ติดกับผิวชิ้นงานก่อนส่วนอื่น โลหะที่เหลือจะไหลออกมาทางด้านข้าง พร้อมทั้งเกิดการแข็งตัวที่ขอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (a) และเมื่อวัสดุพ่นมาทับถมกันหลายชั้นขึ้นก็จะกลายเป็นผิวเคลือบขึ้นมา และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ณ บริเวณที่ถูกพ่นพอกแสดง ดังแสดงในรูปที่ 2.7 (b)



รูปที่ 2.7 (a) กระบวนการพ่นพอกด้วยเปลวความร้อน [23]

(b) โครงสร้างของ Thermal Spray Metal Coating [23]

2.9.1 ประเภทของการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน [23]

สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทด้วยกันตามแหล่งพลังงานที่ใช้หลอมวัสดุ

1) แหล่งความร้อนจากการเผาไหม้

- (ก) **Combustion Flame Spray** กระบวนการนี้เป็นการพ่นโลหะหลอมเหลวลงบนผิวชิ้นงาน โดยวัสดุที่ใช้พ่นจะเป็นเส้นลวดและจะทำให้หลอมเหลวด้วยความร้อนจากเปลวเพลิง และวัสดุที่หลอมเหลวจะถูกทำให้เป็นฝอยละเอียดด้วยอากาศอัด
- (ข) **Etonation Gun Spray** โครงสร้างของปืนพ่นแบบ Detonation โดยทั่วไปจะเป็นท่อยาวระบายความร้อนด้วยน้ำ มีวาล์วสำหรับแก๊ส และผงพ่นออกซิเจน และเชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่ท่อพร้อมทั้งผงพ่น จากนั้น Spark Plug จะทำหน้าที่จุดไฟ ทำให้เกิดความร้อนจากการระเบิดอย่างรุนแรง (Detonation) และเร่งให้ผงวิ่งไปตามท่อด้วยความเร็วเหนือแสง หลังจากนั้นก็จะใช้ในโตรเจน หลังจากนั้นก็ไล่ไอเสียออกจากท่อ เพื่อการจุดระเบิดในครั้งต่อไป การเคลื่อนที่เข้ากระทบผิวชิ้นงานด้วยความเร็วสูงนี้ทำให้ได้ชั้นพอกที่มีความหนาแน่น และความแข็งแรงสูง
- (ค) **High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Spray** การพ่นเคลือบผงด้วยเปลวเพลิงปกติ หรือเปลวเพลิงความเร็วสูง กระบวนการนี้ทำการพ่นโลหะหลอมเหลวลงบนผิวชิ้นงาน โดยวัสดุที่ใช้พ่นเป็นแบบผง และให้หลอมเหลวด้วยเปลวเพลิง และวัสดุที่หลอมเหลวแล้วจะถูกทำให้เป็นฝอยละเอียดด้วยอากาศอัดซึ่งวัสดุมีความเร็วสูงมาก

2) แหล่งความร้อนจากไฟฟ้า

Two Wire Electric Arc Spray เป็นการพ่นเคลือบด้วยลวดอาร์ค ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งกระบวนการนี้ใช้ลวดตัวนำคู่หนึ่งมาประกบกันเพื่อทำให้เกิดอาร์ค โดยใช้กระแสไฟฟ้า และทำให้ลวดทั้งสองเกิดการหลอมเหลว จากนั้นก็จะใช้อากาศอัดพ่นให้วัสดุหลอมเหลวนั้นแตกตัวเป็นละอองและวิ่งไปกระทบบนผิวชิ้นงาน

3) Plasma Spray เป็นการพ่นเคลือบผงด้วยเปลวพลาสมา (พลังงานพลาสมา) กระบวนการพ่นพอกเปลวความร้อนด้วยพลาสมา ประกอบด้วยขาคอนดักเตอร์ที่ทำจากทองแดงและแคโทดที่ทำด้วยทังสเตน ซึ่งทั้งคู่หล่อเย็นด้วยน้ำโดยมีลักษณะเป็น Nozzle แก๊สพลาสมาได้แก่ อาร์กอน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ฮีเลียม โดยจะไหลผ่านลำกล้อง และช่องว่างระหว่างขาคอนดักเตอร์กับแคโทด เมื่อมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วอย่างมากทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนเฉพาะที่ของพลาสมา เป็นผลให้แก๊สมีสภาพนำไฟฟ้าและเกิดอาร์คที่มีความร้อนสูง จนกระทั่งเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาเคลื่อนที่ออกจาก Nozzle โดยผงวัสดุที่ใช้พ่นพอกจะถูกส่งเข้าไปในลำพลาสมาที่ Nozzle ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง และผงวัสดุจะถูกหลอมเหลวและถูกเร่งให้เข้าไปกระทบผิวชิ้นงานและเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

2.10 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการศึกษาการกระจายอุณหภูมิในน้ำ [24]

2.10.1 การคำนวณค่ารังสีอาทิตย์อาทิตย์

1) ทิศทางของรังสีอาทิตย์ตรง

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบของโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีอาทิตย์ตรง หรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ [25] สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่างๆ ดังนี้

ละติจูด (Latitude, ϕ) คือ มุมทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90° ถึง 90°

มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับรังสีอาทิตย์กับแนวระดับมีค่า 0° ถึง 180°

มุมชั่วโมง (Hour angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมอริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° hours

$$\omega = \frac{t}{24} \times 360^{\circ} = 15t \quad (2.11)$$

เมื่อ t คือ เวลาที่วัดหลังจากเที่ยงสุริยะ (hrs)

มุมเดคลิเนชัน (Declination angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวตั้งฉากอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร ให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45°C ถึง 23.45°C สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284 + n)}{365} \right] \quad (2.12)$$

เมื่อ n คือ ลำดับวันของปี

2) รังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศ

ที่เวลาใดๆ สามารถหาค่ารังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวราบเหนือบรรยากาศตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นถึงดวงอาทิตย์ตก [27] ได้จากสมการ

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

G_{sc} คือ ค่าคงตัวรังสีอาทิตย์ (1,367 W/m²)

\bar{H}_0 คือ ค่ารายวันของรังสีอาทิตย์อาทิตย์ในแนวระดับเหนือบรรยากาศ (MJ/m².day)

ω_s คือ มุมซัวโมงพระอาทิตย์ขึ้น ($^{\circ}\text{C}$) = $\cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta)$

3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีอาทิตย์กระจายและรังสีอาทิตย์รวม

Hirunlabh [25] และ Santisirisomboon [26] ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีอาทิตย์กระจายต่อรังสีอาทิตย์รวม (\bar{K}_D) กับอัตราส่วนรังสีอาทิตย์รวมต่อรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศ (\bar{K}_T) โดยใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนของค่ารายวันของกรุงเทพฯ ในช่วงปี พ.ศ. 2525-2535 ซึ่งทำการวัดที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้สมการคำนวณหา ดังนี้

$$\bar{K}_D = \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = -4.6408 + 26.5495 \bar{K}_T - 28.3422 \bar{K}_T^2 - 31.4546 \bar{K}_T^3 + 46.4421 \bar{K}_T^4 \quad (2.16)$$

โดยที่ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ใช้ในการประมาณค่ารังสีอาทิตย์กระจายได้ทั่วประเทศไทย [27]

4) ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์รายชั่วโมงกับรังสีอาทิตย์รายวัน

มีการใช้สมการของ Collares-Perira ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงกับรังสีอาทิตย์รวมรายวัน [27] ดังนี้

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos \omega) \left[\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s} \right] \quad (2.17)$$

โดยที่ $a = a_1 + a_2 \sin(\omega_s - 1.047)$ (2.18)

$$b = b_1 + b_2 \sin(\omega_s - 1.047) \quad (2.19)$$

เมื่อ a_1, a_2, b_1 และ b_2 คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

หรือ $r_t = \frac{I_t}{H_t}$ (2.20)

เมื่อ

H_t คือ รังสีอาทิตย์รวมรายวัน (MJ/m² day)

I_t คือ รังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงเฉลี่ยรายเดือน (MJ/m² day)

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของรังสีอาทิตย์รวมรายชั่วโมงเฉลี่ยรายเดือนและรังสีอาทิตย์รวมรายวันเฉลี่ยรายเดือน [25]

Station	Regression Coefficient				R^+	$RSME^{++}$
	a_1	a_2	b_1	b_2		
กรุงเทพ	0.792	-0.250	0.189	0.417	0.9754	0.0105
เชียงใหม่	0.514	0.228	0.512	0.083	0.9753	0.0108
อุบลราชธานี	0.760	-0.031	0.207	0.238	0.9718	0.0110
หาดใหญ่	0.607	-0.124	0.417	0.007	0.9747	0.0104

5) อัตราส่วนรังสีอาทิตย์ตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีอาทิตย์ตรงบนพื้นราบ

Liu & Jordan ได้แนะนำให้ใช้ค่าอัตราส่วนการสะท้อนรังสีอาทิตย์ของพื้นดิน (ρ) ประมาณ 0.2 [28] สำหรับพื้นที่ที่ไม่มีหิมะปกคลุม และ 0.7 สำหรับพื้นที่ที่หิมะตกใหม่ๆ โดยค่าเฉลี่ยรายเดือนของรังสีอาทิตย์รวมรายวัน (\bar{H}_T) หาได้จากสมการ

$$\bar{H}_T = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + \bar{H} \rho \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2.21)$$

สำหรับซีกโลกเหนือ ค่าอัตราส่วนเฉลี่ยของรังสีอาทิตย์ตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีอาทิตย์ตรงที่ตกกระทบพื้นราบในแนวระดับ (\bar{R}_b)

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta)\cos\delta\sin\omega'_s + \frac{\pi\omega'_s}{180}\sin(\phi - \beta)\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta\sin\omega_s + \frac{\pi\omega_s}{180}\sin\phi\sin\delta} \quad (2.22)$$

$$\omega'_s = \min \left\{ \begin{array}{l} \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta), \\ \cos^{-1}(-\tan(\phi - \beta)\tan\delta) \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

โดยที่ “min” หมายถึง จำนวนที่มีค่าน้อยกว่าของ 2 เทอมในวงเล็บ

6) การประมาณค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม สามารถคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [25] ได้ดังนี้

$$T_a(t) = \frac{[(T_{\max} + T_{\min}) + (T_{\max} - T_{\min})\sin(\omega t)]}{2} \quad (2.24)$$

เมื่อ

hr คือ เวลาในชั่วโมงที่พิจารณา

$T_a(t)$ คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมในเวลา t (K)

T_{\max} คือ อุณหภูมิสูงสุดของอากาศแวดล้อมของวันในเวลา t (K)

T_{\min} คือ อุณหภูมิต่ำสุดของอากาศแวดล้อมของวันในเวลา t (K)

t คือ ระยะเวลาของการทดสอบในชั่วโมงที่พิจารณาก่อนแปดชั่วโมง (Hrs)

ω คือ มุมชั่วโมง $\omega = 2\pi/24$

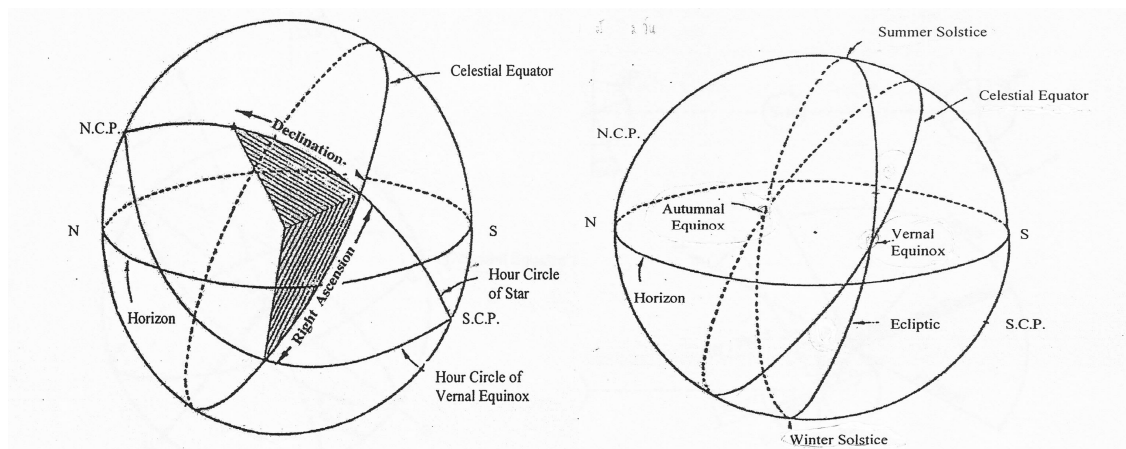
ตารางที่ 2.5 อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดของอากาศแวดล้อมในประเทศไทยแต่ละช่วงเดือน [27]

คาบ	ช่วง	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)	
		สูงสุด	ต่ำสุด
1	14 มกราคม – 26 กุมภาพันธ์	33.3	21.8
2	27 กุมภาพันธ์ – 12 เมษายน	35.6	23.5
3	13 เมษายน – 28 พฤษภาคม	35.5	24.9
4	29 พฤษภาคม – 15 กรกฎาคม	33.9	25.1
5	16 กรกฎาคม – 31 สิงหาคม	32.8	24.9
6	1 กันยายน – 15 ตุลาคม	32.6	24.9
7	16 ตุลาคม – 29 พฤศจิกายน	31.9	23.6
8	30 พฤศจิกายน – 13 มกราคม	32.1	21.1

7) เวกาคณิศของระบบโลก-ดวงอาทิตย์ [29]

โลกเคลื่อนที่เป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคมและโลกเคลื่อนที่ผ่านจุดในวงโคจรที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ตำแหน่งดังกล่าวเรียกว่า Perihelion มุมต้นที่ดวงอาทิตย์รองรับที่ Perihelion เมื่อมองจากโลกเท่ากับ $32^{\circ}36'$ ส่วนในเดือนกรกฎาคมโลกเคลื่อนที่ผ่านจุดไกลสุดในวงโคจร เรียกตำแหน่งนั้นว่า Aphelion มุมต้นที่ตำแหน่งนั้นเท่ากับ $31^{\circ}59'$ ถึง 32° ความแตกต่างของระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ในวงโคจรไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ทำให้รังสีอาทิตย์อาทิตย์ตกกระทบโลกเปลี่ยนแปลงได้มากจนทำให้เกิดฤดูกาล ซึ่งการเกิดฤดูกาลนั้นเป็นผลมาจากการเอียงเบนของระนาบของอิควเตอร์ของโลก (Equatorial Plane) ไปจาก 2 ประการคือ 1) ระนาบการหมุน (Orbital Plane) 2) การวางตัวของแกนหมุนของโลก ในอวกาศขณะที่โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 โดยแกนโลกวางตัวเป็นมุม $23^{\circ}27'$ (หรือ 23.45°) กับวงโคจรของโลกตลอดเวลา

ดังนั้นตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในท้องบนิในแต่ละวันของตำแหน่งบนโลกจะเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี นักดาราศาสตร์ได้กำหนดวันสำคัญ 4 วัน ที่ดวงอาทิตย์โคจรผ่านทั้ง 4 จุด บนท้องฟ้า (ผู้สังเกตอยู่บนโลก) สองจุดแรกคือ จุดบนวงโคจรของโลก เมื่อมีการเอียงของแกนโลก มีผลต่อดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบมากที่สุด จุดดังกล่าวเรียกว่า โซลสติซ (Solstice) ตรงกับประมาณวันที่ 22 มิถุนายน ซึ่งเรียกว่า Summer Solstice และ 22 ธันวาคม ซึ่งเรียกว่า Winter Solstice อีกสองจุดต่อมา เป็นตำแหน่งวงโคจรซึ่งเกิดจากการเอียงของแกนหมุนของโลก ไม่มีผลต่อดวงอาทิตย์ จุดดังกล่าวเรียกว่า อิกวินอกซ์ (Equinox) ซึ่งตรงกับวันที่ 21 มีนาคม ซึ่งเรียกว่า Spring หรือ Vernal Equinox และ วันที่ 23 กันยายน เรียกว่า Autumnal Equinox ในวันอิกวินอกซ์นี้ ทุกตำแหน่งบนผิวโลกช่วงกลางวันจะเท่ากับกลางคืนเสมอ คือ 12 ชั่วโมง ผลจากการวางตัวของแกนโลกและระนาบวงโคจรที่ต่างกันตลอดปีนี้ จะทำให้ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนไม่เท่ากันตลอดทั้งปีด้วย



ก) เส้นโคจรรอบดวงอาทิตย์ตัดกับเส้นศูนย์สูตร ข) ค่า Declination และ right ascension

รูปที่ 2.8 ตำแหน่งต่างๆ บนท้องฟ้า [29]

2.11 แผงรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา (Compound Parabolic Concentrator, CPC) [24]

2.11.1 ประเภทและการใช้ประโยชน์ของแผงรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์

แผงรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์ทุกแบบมีจุดประสงค์หลักในการใช้งานคือ เพื่อเก็บรวบรวมรังสีอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ แล้วนำไปใช้ประโยชน์เชิงความร้อนตามอุณหภูมิที่ใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่แผงแต่ละชนิดจะทำได้ จึงได้มีการปรับปรุงการสร้างแผงชนิดต่างๆ ขึ้นตามจุดประสงค์ในการใช้งานที่อุณหภูมิระดับต่างๆ กัน และต้องมีประสิทธิภาพสูงและราคาที่แข่งขันกับพลังงานรูปอื่นได้ แผงรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์แบ่งออกได้ 3 ลักษณะ [27] ดังนี้

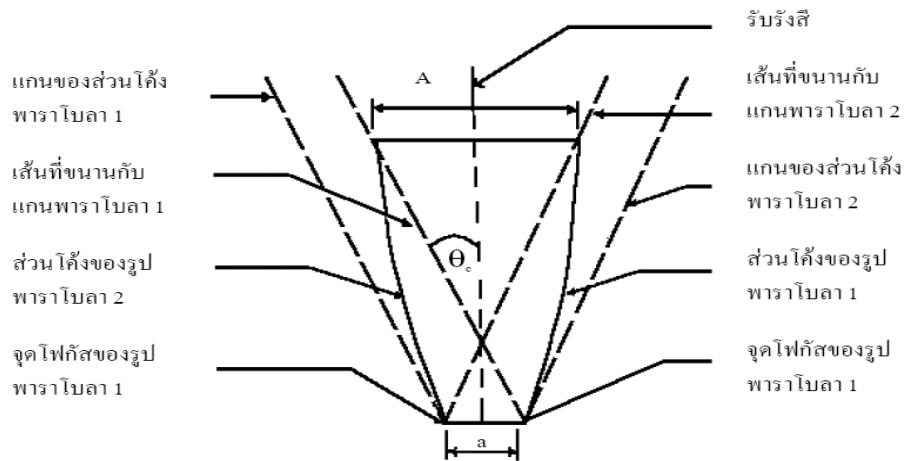
- 1) แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ เป็นแผงที่ไม่มีการรวมรังสีอาทิตย์ให้อุณหภูมิประมาณ 100°C สร้างง่าย ราคาถูก ติดตั้งอยู่กับที่โดยไม่ต้องเปลี่ยนตามดวงอาทิตย์
- 2) แผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอุณหภูมิปานกลาง มีอัตราส่วนรวมรังสีอาทิตย์ประมาณ 2-10 เท่า ไม่ต้องการจตุรวมรังสีอาทิตย์ที่เที่ยงตรง หรือคมชัด และไม่ต้องการติดตามดวงอาทิตย์แบบเที่ยงตรงตลอดเวลา อาจมีการปรับมุมรับรังสีอาทิตย์ตามฤดูกาล แผงรับรังสีอาทิตย์แบบนี้เช่น แผงรับรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบลา
- 3) แผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอุณหภูมิสูง ผลิตพลังงานที่มีอัตราส่วนรวมรังสีอาทิตย์มาก และให้อุณหภูมิสูงที่ปารับรังสีอาทิตย์ (Receiver) ต้องการจตุรวมรังสีอาทิตย์ที่เที่ยงตรงและคมชัด และต้องการติดตามดวงอาทิตย์ที่เที่ยงตรงตลอดเวลา แผงรับรังสีอาทิตย์ลักษณะนี้มี รางพาราโบลิก (Parabolic Trough) และฮีลิโอสแตท (Heliostats) เป็นต้น

ข้อดีของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบรวมรังสีอาทิตย์

1. เพิ่มพลังงานให้ปารับรังสีอาทิตย์ ทำให้ได้อุณหภูมิใช้งานที่สูงขึ้น
2. ปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อน โดยการลดพื้นที่การสูญเสียความร้อนของปารับรังสีอาทิตย์เมื่อเทียบกับพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (Aperture Area) ทั้งหมดแล้ว การสูญเสียความร้อนนี้จะน้อยกว่าของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมาก
3. แผงรับรังสีอาทิตย์แบบ CPC สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ทั้งรังสีอาทิตย์ตรงและรังสีอาทิตย์กระจาย

2.11.2 รูปร่างลักษณะของตัวรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา (CPC) ชั้นพื้นฐาน [24]

รูปร่างลักษณะของรูปประกอบพาราโบลาชั้นพื้นฐาน [28] เป็นรูปของส่วนโค้งพาราโบลา 2 รูป มาประกอบกัน โดยให้แกนของพาราโบลา (Axis of Parabola) ทั้งสองรูปทำมุม θ_c กับแกนกลางหรือแกนร่วมของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Axis of Collector)



รูปที่ 2.9 รูปร่างลักษณะของ CPC ชั้นพื้นฐาน [27]

เมื่อ

A คือ หน้ากว้างของพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (Aperture)

a คือ เส้นรอบรูปของป้รับรังสีอาทิตย์ (Receiver)

θ_c คือ ครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ของ CPC (Acceptance Half Angle)

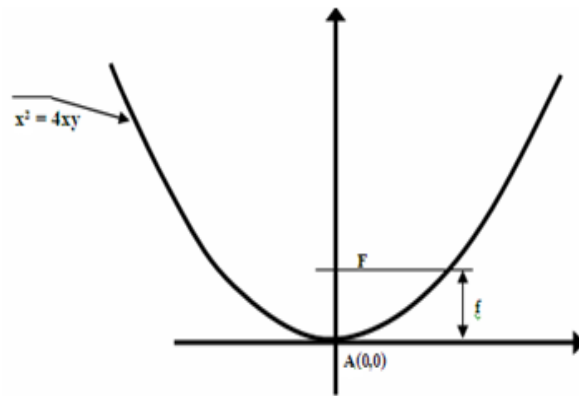
2.11.3 สมบัติการรวมรังสีอาทิตย์ของพาราโบลา (Parabola Curve)

รูปกราฟพาราโบลา มีสูตรทางคณิตศาสตร์ว่า $x^2 = 4fy$ ดังแสดงรูปที่ 2.10
เมื่อ

$A(0,0)$ คือ จุดกำเนิด (Origin)

f คือ ระยะโฟกัส

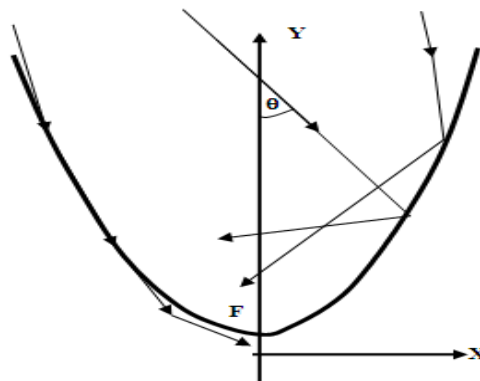
F คือ จุดโฟกัส



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของพาราโบลา [27]

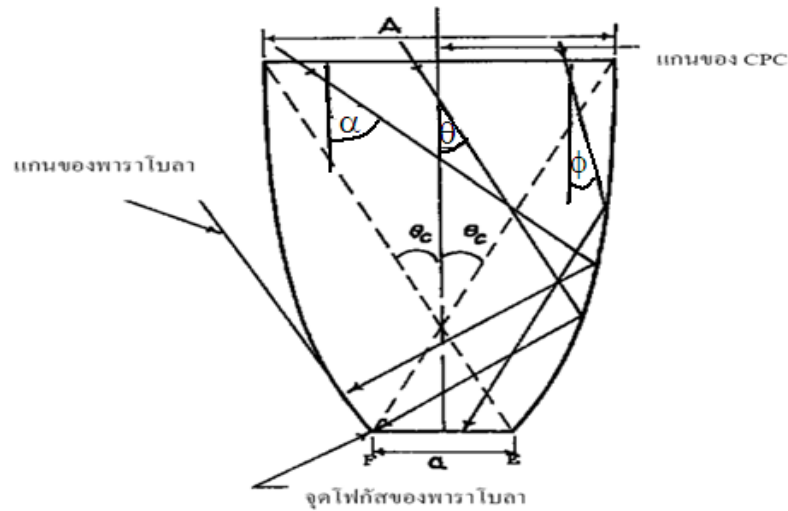
สมบัติพิเศษในการรวมรังสีอาทิตย์ของรูปพาราโบลา

1. รังสีอาทิตย์ที่ส่องขนานกับแกนของพาราโบลาจะสะท้อนมารวมกันที่จุดๆ หนึ่งเรียกว่า จุดโฟกัส
2. รังสีอาทิตย์ที่ส่องมาไม่ขนานกับแกนของพาราโบลา แต่ทำมุม θ กับแกนของพาราโบลา รังสีอาทิตย์ที่ส่องมาลักษณะนี้จะไม่สามารถสะท้อนมารวมกันที่จุดโฟกัส
3. รังสีอาทิตย์ที่ส่องมาเป็นมุมเฉลปหรือไถลไปกับส่วนโค้งของพาราโบลา (Glancing Angle) รังสีอาทิตย์อาจจะสะท้อนมากกว่าหนึ่งครั้งตามส่วนโค้งของพาราโบลาผ่านลงมาถึงกับจุดโฟกัส



รูปที่ 2.11 การสะท้อนรังสีอาทิตย์ของรูปประกอบพาราโบลา [27]

2.11.4 การรับรังสีของแผงรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบสมมาตร [24]



รูปที่ 2.12 การสะท้อนรังสีอาทิตย์เข้าเป้าของรูปประกอบพาราโบลา [27]

จากคุณสมบัติการรวมรังสีอาทิตย์ของรูปพาราโบลา และการสร้างรูปประกอบพาราโบลาที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์เป็น θ_c ทำให้รูปประกอบพาราโบลามีคุณสมบัติในการรับรังสีอาทิตย์ 3 ลักษณะ [22] คือ

1. ถ้ารังสีอาทิตย์ทำมุม θ_c กับแกนกลางของ CPC แล้ว รังสีอาทิตย์นั้นจะถูกสะท้อนรวมเข้าจุดโฟกัสของพาราโบลารูปนั้น หรือเข้าเป้ารับรังสีอาทิตย์ของ CPC นั้น
2. ถ้ารังสีอาทิตย์ทำมุม ϕ ซึ่งเล็กกว่ามุม θ_c ของ CPC รูปนั้นแล้วรังสีอาทิตย์นั้นจะไม่ถูกสะท้อนเข้าจุดโฟกัสของพาราโบลารูปนั้น แต่จะตกอยู่ระหว่างจุดโฟกัสของรูปพาราโบลาทั้งสองอันที่ประกอบเป็น CPC นั้น ซึ่งระยะห่างของจุดโฟกัสทั้งสองคือ เป้ารับรังสีอาทิตย์ของ CPC
3. ถ้ารังสีอาทิตย์ทำมุม ψ ซึ่งโตกว่ามุม θ_c ของ CPC แล้ว รังสีอาทิตย์นั้นจะไม่ถูกสะท้อนรวมเข้าจุดโฟกัสแต่จะสะท้อนผ่านเหนือจุดโฟกัสนั้นไป ซึ่งจะไม่ได้ตกเข้าเป้ารับรังสีอาทิตย์ของ CPC
4. จากลักษณะการตกกระทบของรังสีอาทิตย์ทั้ง 3 ลักษณะนี้ รูปประกอบพาราโบลาจะยอมรับรังสีอาทิตย์เข้าเป้ารับรังสีอาทิตย์ได้ก็ต่อเมื่อรังสีอาทิตย์นั้นทำมุมกับเส้นขนานแกนกลางของ CPC ไม่เกินครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ (θ_c) ของรูปประกอบพาราโบลารูปนั้น

2.11.5 ลักษณะทั่วไปของแผงรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลแบบสมมาตร [24]

CPC เป็นตัวเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์แบบอยู่กับที่ (Fixed Concentrator) ที่มีอุณหภูมิใช้งานปานกลาง ($100^{\circ}\text{C} - 300^{\circ}\text{C}$) โดยมีรังสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีความเข้มเพิ่มขึ้นประมาณ 1.1-10 เท่า โดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์อย่างเที่ยงตรงตลอดเวลา ต้องการการปรับตำแหน่งเป็นบางครั้งบางคราว เช่น เดือนละครั้ง หรือฤดูกาลละครั้งเท่านั้น นอกจากนี้ CPC ยังมีพื้นที่ผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์มากกว่าแบบเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ (Focusing Concentrator) จึงสามารถยอมให้มีการผิดพลาดของรูปแบบผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้มากขึ้น จึงไม่ต้องการความพิถีพิถันในการสร้างมากเท่าแบบเคลื่อนตามดวงอาทิตย์

CPC แบ่งตามลักษณะทางเรขาคณิตออกเป็น 2 แบบ [19] คือ แบบ 2 มิติ ซึ่งมีลักษณะเป็นรางยาวและปรับตามดวงอาทิตย์รอบแกนเดียว และแบบ 3 มิติ ซึ่งมีลักษณะเป็นกรวยต้องปรับตามดวงอาทิตย์รอบสองแกน โดยต้องปรับรอบแกนใดแกนหนึ่งทุก 15 min เพื่อเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ CPC มีอัตราส่วนการรวมรังสีอาทิตย์ตามทฤษฎี (CR) ขึ้นอยู่กับตัวกลาง (Medium) ระหว่างตัวคู่อัตรารังสีอาทิตย์ ผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ และมุมรับรังสีอาทิตย์ ดังนี้

$$\text{CR}_{\text{ทฤษฎี, 2 มิติ}} = \frac{n}{\sin\theta_c} \quad (2.25)$$

$$\text{CR}_{\text{ทฤษฎี, 3 มิติ}} = \frac{n^2}{\sin^2\theta_c} \quad (2.26)$$

เมื่อ

n คือ สัมประสิทธิ์การหักเหแสง (Index of Refraction) ของตัวกลางที่อยู่ระหว่างตัวรับรังสีอาทิตย์กับรังสะท้อนรังสีอาทิตย์

θ_c คือ ครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ (Acceptance Half Angle)

เนื่องจาก CPC ถูกออกแบบมาให้สามารถรับรังสีอาทิตย์ได้เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นสำหรับ CPC ที่มีอัตราความเข้มประมาณ 9-10 และรับรังสีอาทิตย์อย่างน้อยวันละ 7 hrs ต้องการปรับตำแหน่งเพียงเดือนละครั้งเท่านั้น และถ้าไม่มีการปรับเลยก็ยังคงทำงานได้ แต่จะรับรังสีอาทิตย์ได้น้อยกว่า 7 hrs แกนของโลกเอียงทำมุม 23.5°C กับระนาบที่โลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้นจากวันที่ 21 ธันวาคม (Winter Solstice) ไปถึงวันที่ 21 มิถุนายน (Summer Solstice) ดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงจะทำมุมกัน 47°C ถ้าเราออกแบบตัวเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์อาทิตย์ให้มีมุมรับรังสีอาทิตย์เป็น 20°C

(CR ทฤษฎี = 1.3054) และตั้งแกนตั้งฉากของตัวเพิ่มความเข้มรังสีอาทิตย์โดยตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันวิษุวัต (ดวงอาทิตย์ตำแหน่งตรงได้ฉากกับเส้นศูนย์สูตรของโลก; Equinox) โดยวางรางในแนวตะวันออก-ตะวันตก แล้วจะไม่ต้องมีการปรับตำแหน่งเลยตลอดปี

CPC แบบ 2 มิติ สามารถแบ่งตามลักษณะของปenerimaรังสีอาทิตย์ได้ 4 แบบ ดังนี้

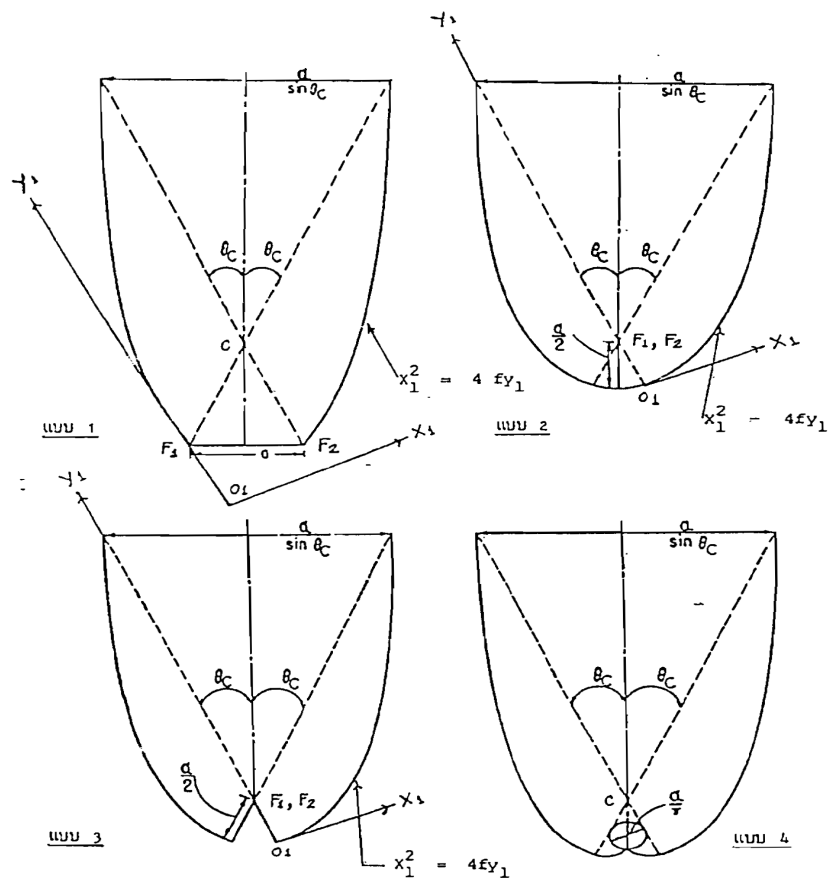
แบบ 1 ปenerimaรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat Type)

แบบ 2 ปenerimaรังสีอาทิตย์แบบครีป (Fin Type)

แบบ 3 ปenerimaรังสีอาทิตย์แบบรูปวีคว่ำ (Inverted Vee Type)

แบบ 4 ปenerimaรังสีอาทิตย์แบบท่อ (Tubular Type)

ความสัมพันธ์ของความสูงทั้งหมดของรางสะท้อนรังสีอาทิตย์ (H) ความยาวของระยะโฟกัส (f) กับครึ่งมุมรังสีอาทิตย์ (θ_c) และเส้นรอบรูปของปenerimaรังสีอาทิตย์ (เฉพาะด้านที่รับรังสีอาทิตย์) (a) ของปenerimaรังสีอาทิตย์ทั้ง 4 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.13 ชนิดและส่วนประกอบของ CPC แต่ละแบบ

ตารางที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของความสูง (H) ความยาวโฟกัส (f) ครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ และเส้นรอบรูปของเป้ารับรังสีอาทิตย์ (เฉพาะด้านที่รับรังสีอาทิตย์, a) ของ CPC [19]

เป้ารับรังสีอาทิตย์	ความสูงทั้งหมด (H)	ความยาวโฟกัส (f)	สมการส่วนโค้งรูปพาราโบลา
1. แบบแผ่นราบ (Flat Type)	$H = \frac{a}{2} \left(\frac{1}{\tan \theta_c} + \frac{1}{\tan \theta_c \sin \theta_c} \right)$	$f = \frac{a}{2} (1 + \sin \theta_c)$	$x^2 = 4fy$
2. แบบครีป (Fin Type)	$H = \frac{a}{2} \left(1 + \frac{1}{\tan \theta_c \sin \theta_c} \right)$	$f = \frac{a}{2}$	$x^2 = 4fy$
3. แบบรูปวีคว่ำ (Inverted Vee Type)	$H = \frac{a}{2} \left(\cos \theta_c + \frac{1}{\tan \theta_c \sin \theta_c} \right)$	$f = \frac{a}{2}$	$x^2 = 4fy$
4. แบบท่อ (Tubular Type)	$H = \frac{a}{2} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi \sin \theta_c} + \frac{1}{\tan \theta_c \sin \theta_c} \right)$	$f = \frac{a}{r}$	$BC = \beta \left(\frac{d}{2} \right) \quad \text{สำหรับ } \beta \leq \theta_c + \frac{\pi}{2}$ $BC = \frac{\left(\frac{d}{2} \right) \left[\left(\beta + \theta_c + \frac{\pi}{2} \right) - \cos(\beta - \theta_c) \right]}{1 + \sin(\beta - \theta_c)}$ <p>สำหรับ $\theta_c + \frac{\pi}{2} \leq \beta \leq 3 \frac{\pi}{2} - \theta_c$</p>

หมายเหตุ: BC คือ ส่วนโค้งรูปพาราโบลา

d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m) r คือ รัศมีของท่อ (m)

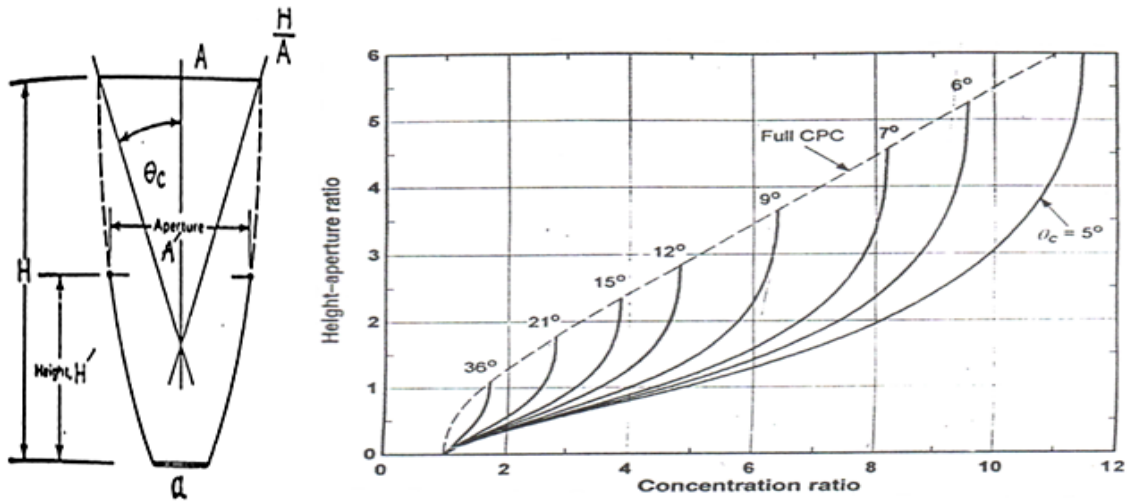
จากรูปที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบและลักษณะเป่ารับรังสีของ CPC แต่ละแบบจะเห็นว่าเป่ารับรังสีแบบ 2 และแบบ 4 นั้น เป่ารับรังสีอยู่ภายในรางสะท้อนรังสีทั้งหมด จึงไม่ต้องมีฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนด้านหลังของเป่ารับรังสีและยังสามารถรับรังสีได้รอบตัวอีกด้วย ทำให้พื้นที่ของเป่ารับรังสีมีพื้นที่น้อยลง จึงสามารถตอบสนองต่อพลังงานที่ได้รับเร็วขึ้น ในการพิจารณานำ CPC มาใช้เป็นตัวรับรังสีของระบบน้ำร้อนนั้น เลือกใช้ CPC ที่มีครีบริบและท่อเป็นเป่ารับรังสี โดยให้น้ำซึ่งเป็นของไหลใช้งานไหลผ่านท่อรับรังสี เพื่อถ่ายโอนความร้อนจากตัวรับรังสีไปใช้งาน รูปแบบรางสะท้อนรังสีของเป่ารับรังสีทั้ง 4 แบบที่ได้แสดงในรูปที่ 2.13 นั้น มีพื้นผิวสะท้อนรังสีมาก และลักษณะโครงสร้างสะท้อนรังสีชันมาก ทำให้สามารถตัดรางสะท้อนรังสีส่วนบนออกได้มากถึงร้อยละห้าสิบ โดยทำให้อัตราเพิ่มความเข้ม (concentration ratio, CR) ลดลงเพียงร้อยละสิบเท่านั้น โดยในรูปที่ 2.14 และรูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนเพิ่มความเข้มกับอัตราส่วนของความสูงต่อหน้าตัดรับรังสีอาทิตย์ (Height/Aperture) และอัตราส่วนของผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่อหน้าตัดรับรังสีอาทิตย์ (Reflector/Aperture) ตามลำดับ นอกจากนี้การตัดรางสะท้อนรังสีอาทิตย์ออกบ้างยังช่วยลดความสูญเสียในการสะท้อนกลับมาและทำให้เหมาะสมในเชิงปฏิบัติมากขึ้น

รางสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่มีมุมรับรังสีอาทิตย์ต่างกัน (อัตราเพิ่มความเข้มตามทฤษฎีต่างกัน) สามารถมีค่าอัตราเพิ่มความเข้มทางปฏิบัติเท่ากัน โดยการตัด (Truncation) โดยที่

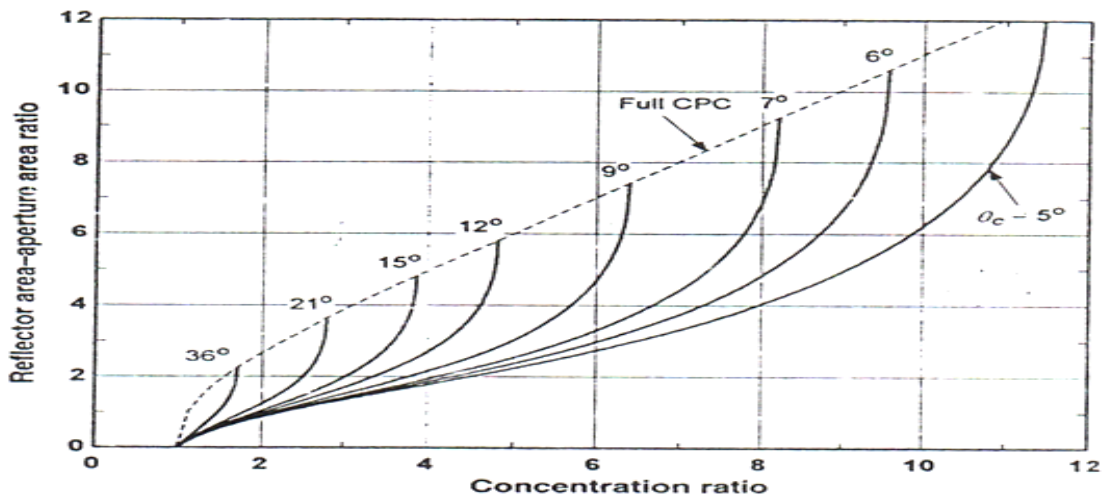
$$CR_{\text{ปฏิบัติ, 2 มิติ}} = \frac{\text{พื้นที่หน้าตัดแผงรับรังสีอาทิตย์ (A}_c\text{)}}{\text{พื้นผิวเป่ารับรังสีอาทิตย์ (A}_r\text{)}} \quad (2.53)$$

ข้อจำกัดของ CPC ในการรับรังสีอาทิตย์

1. สำหรับ CPC ที่มีพื้นที่เป่าดูดรังสีอาทิตย์เท่ากันแล้ว แบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์น้อยกว่าจะมีความสูง (H) มากกว่าและมีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ (A_c) และอัตราส่วนรวมรังสีอาทิตย์มากกว่าแบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ที่โตกว่า แต่ถ้ามีการตัดความสูงของ CPC ลงให้มีหน้ากว้างพื้นที่รับรังสีอาทิตย์เท่ากัน หรือให้มีอัตราส่วนรวมรังสีอาทิตย์ที่เท่ากันแล้วแบบที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ที่น้อยกว่าจะมีความสูงน้อยกว่า
2. CPC ที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์น้อยกว่าจะมีอัตราส่วนเพิ่มความเข้มที่มากกว่า แต่จะมีระยะเวลาในการรับรังสีอาทิตย์ต่อวัน หรือต่อฤดูกาลได้น้อยกว่า CPC ที่มีครึ่งมุมรับรังสีอาทิตย์ที่โตกว่า ดังนั้นจึงต้องมีการปรับมุมรับรังสีอาทิตย์บ่อยครั้งกว่าการตัดความสูงของ CPC จะช่วยลดค่าใช้จ่ายและน้ำหนักลง



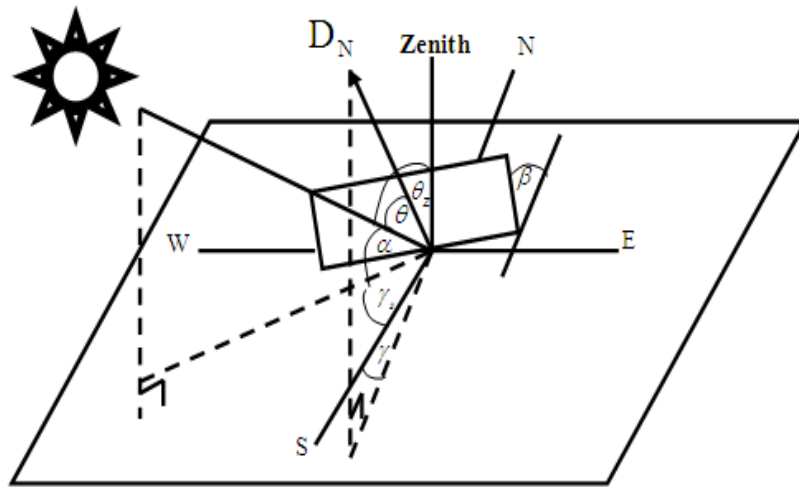
รูปที่ 2.14 อัตราส่วนความสูงต่อพื้นที่หน้าตัดรับรังสีอาทิตย์ (H/A) ของ CPC แบบเต็ม และแบบที่ถูกตัดบางส่วน [19]



รูปที่ 2.15 อัตราส่วนของผิวสะท้อนรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่หน้าตัดแผงรับรังสีอาทิตย์ของ CPC แบบเต็มและแบบที่ถูกตัดบางส่วน [19]

2.11.6 ความสัมพันธ์ของรังสีอาทิตย์ตรงกับแผงรับรังสีอาทิตย์

เนื่องจากแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.5° หรือ 23.45°C กับระนาบโคจรรอบดวงอาทิตย์ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงมุมที่เกิดจากเส้นแนวตอศูนย์กลางของโลก และดวงอาทิตย์ทำกับระนาบศูนย์ของโลก เรียกว่า มุมเดคลิเนชัน (Declination) ทิศทางของรังสีอาทิตย์ตรงกับแผงรังสีอาทิตย์ที่มุมเอียง [21] และมีทิศทางหันเหไปในลักษณะต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของมุมหลายมุมซึ่งเคยกำหนดมุมเหล่านี้โดย Benford และ Bock ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ บนพื้นราบและระนาบเอียง [27]

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.27)$$

เมื่อ

- β คือ มุมเอียงของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Slope); $0 \leq \beta \leq 180$
- θ คือ มุมตกกระทบบนระนาบกับรังสีอาทิตย์ (Angle of Incident)
- θ_z คือ มุมซันิธ (Zenith Angle)
- ϕ คือ มุมของเส้นรุ้ง (Latitude), $-90 \leq \phi \leq 90$
- ω คือ มุมของเวลา (Hour Angle)
- α คือ มุมอัลติจูด (Solar-Altitude)
- γ คือ มุมอะซิมูทของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Surface-Azimuth)
- γ_s คือ มุมอะซิมูทของดวงอาทิตย์ (Solar-Azimuth)

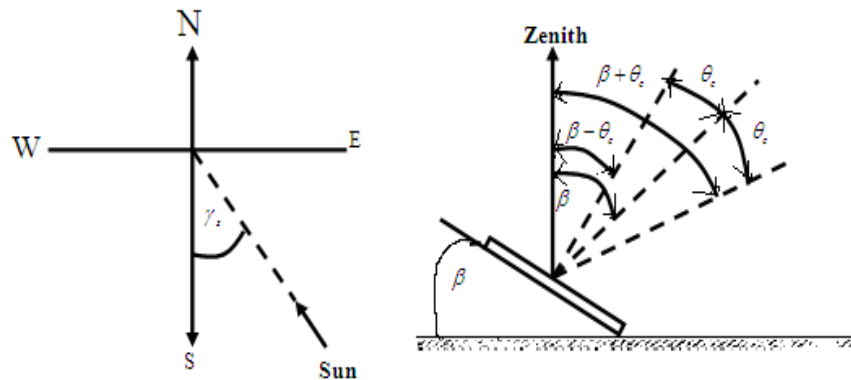
มุมที่มีความสำคัญที่ใช้กับ CPC มีดังนี้

$$\begin{aligned}\cos\theta_Z &= \sin\alpha \\ &= \cos\delta \cos\phi \cos\omega + \sin\delta \sin\phi\end{aligned}\quad (2.28)$$

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta \sin\omega}{\cos\alpha} = \frac{\cos\delta \sin\omega}{\cos\theta_Z}\quad (2.29)$$

การรับรังสีอาทิตย์ตรงของ CPC มีความสัมพันธ์กับมุมซีนิธ มุมเอียงของดวงอาทิตย์ และมุมเอียงรับรังสีอาทิตย์ของ CPC [27] ซึ่ง Mitchell ได้ให้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$(\beta - \theta_c) \leq \tan^{-1}(\tan\theta_Z \cdot \cos\gamma_s) \leq (\beta + \theta_c)\quad (2.30)$$



รูปที่ 2.17 ค่ามุม γ_s การเอียงมุมของ CPC เป็น β ที่จะสามารถให้รังสีอาทิตย์ตกทำมุม $(\beta - \theta_c)$ และ $(\beta + \theta_c)$ จากเส้นตั้งฉากกับพื้นราบ (Zenith) [27]

ถ้าให้ F เป็นฟังก์ชันที่รังสีอาทิตย์จะเข้าสู่ CPC ในช่วง $2\theta_c$ คือ ถ้าค่าของ $\tan^{-1}(\tan\theta_Z \times \cos\gamma_s)$ เป็นไปตามสมการ 2.30 ให้ $F = 1$ แต่ถ้ามีค่านอกเหนือจากนี้ $F = 0$ ดังนั้นค่า $G_{b_{CPC}}$ จึงมีความสัมพันธ์กับ F ด้วย

$$G_{b_{CPC}} = FG_{b_n} \times \cos\theta\quad (2.31)$$

เมื่อ

G_b คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงที่ตกตั้งฉากบนพื้นราบ (W/m^2)

G_{b_n} คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตรง (W/m^2)

G_{b_T} คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงที่ตกตั้งฉากบนพื้นเอียง (W/m^2)

ถ้าให้ R_b เป็นอัตราส่วนของปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงบนระนาบเอียงต่อปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นราบ

$$R_b = (I_{bT} / I_b) \quad (2.32ก)$$

$$= \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.33ข)$$

เมื่อ

I_b คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงที่ตกตั้งฉากบนพื้นราบ (W/m^2)

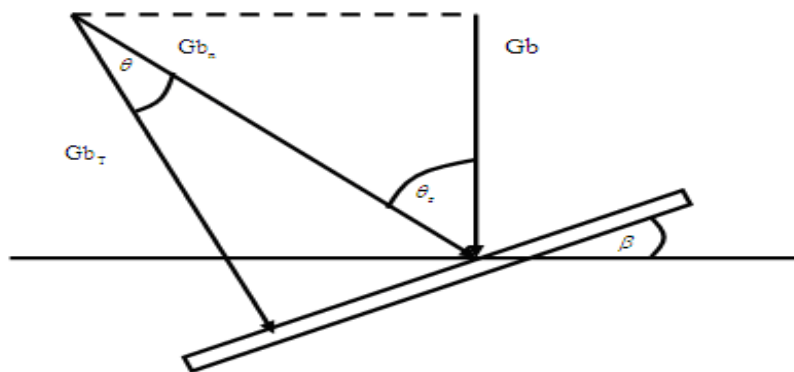
I_d คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์กระจายที่ตกตั้งฉากบนพื้นราบ (W/m^2)

I_{dT} คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์กระจายที่ตกตั้งฉากบนพื้นเอียง (W/m^2)

I_T คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์รวมที่ตกตั้งฉากบนพื้นเอียง (W/m^2)

R_b คือ อัตราส่วนปริมาณรังสีอาทิตย์ตรงบนระนาบเอียงต่อปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นราบ

ρ คือ ค่าการสะท้อนรังสีอาทิตย์จากพื้นดิน



รูปที่ 2.18 รังสีอาทิตย์ G_{b_n} ทำมุมกับเส้นตั้งฉากของพื้นราบ (θ_z) และของพื้นเอียง (θ) [27]

การหาปริมาณรังสีอาทิตย์รวมที่ปรับปรุงโดย Liu และ Jordan ได้ดังนี้

$$I_T = [I_b \cdot R_b] + [I_d \cdot ((1 + \cos \beta) / 2)] + [\rho (I_b + I_d) \cdot ((1 - \cos \beta) / 2)] \quad (2.34)$$

$$R = [(I_b \cdot R_b) / I] + [(I_d / I) \cdot ((1 + \cos \beta) / 2)] + [((1 - \cos \beta) / 2)] \quad (2.35)$$

2.11.8 ความร้อนนำไปใช้ประโยชน์จากตัวรวมรังสีอาทิตย์

ความร้อนสูญเสียจากตัวรับรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้ โดยใช้ข้อมูลจากการทดลอง ตัวรับรังสีอาทิตย์ดวงอาทิตย์ขณะเกิดสมมูลทางอุณหภูมิตั้ง (Stagnation condition) [28] และไม่มีการนำพลังงานไปใช้ โดยใช้ น้ำมันทนอุณหภูมิสูงที่ความดันปกติของการไหลใช้งานดังสมการ (2.36)

$$Q_u = m_w C_{p,w} (T_w - T_a) \quad (2.36)$$

เมื่อ

$C_{p,w}$ คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg^oC)

m_w คือ มวลของน้ำ (kg)

Q_u คือ พลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ (°C)

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (°C)

T_w คือ อุณหภูมิของน้ำเริ่ม (°C)

2.11.9 ประสิทธิภาพของตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา

ในการวิเคราะห์ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลา [31] โดยทั่วไปถือว่าประสิทธิภาพแปรเปลี่ยนไปตามการสูญเสียเชิงทัศนศาสตร์ (Optical Losses) และการสูญเสียเชิงความร้อน (Thermal Losses) ตามสมการของ Hottel-Whillier-Bliss กล่าวคือ

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{พลังงานที่แผงรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้}}{\text{พลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์ตกกระทบ}} \quad (2.38) \\ &= \frac{Q_u}{I_T A_C} \\ &= \frac{m C_{p,w} (T_w - T_a)}{I_T A_C} \end{aligned}$$

เมื่อ

A_C คือ พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Receiver area) (m²)

$C_{p,w}$ คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (KJ/kgK)

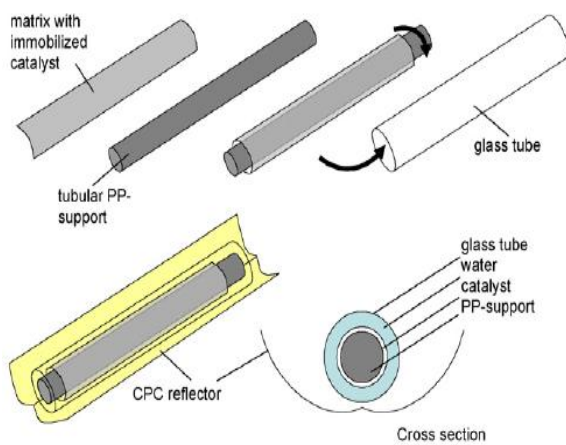
I_T คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ (W/m²)

η คือ ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ ACPC

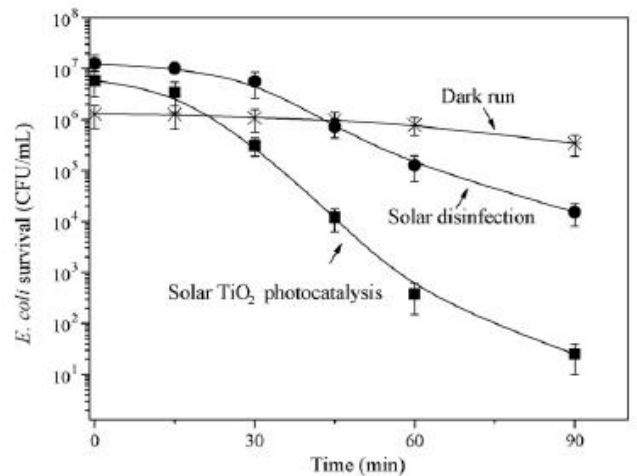
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้วิธีต่างๆ

Sichel และคณะ [32] ศึกษาการฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* K12 ในน้ำโดยใช้ตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบล่าแบบสมมาตร (CPC) โดยเคลือบไททาเนียมไดออกไซด์บนแผ่นอะลูมิเนียม แล้วนำไปใส่ภายในท่อแก้ว จากนั้นนำไปใส่ภายในหลอดแก้วแล้วนำไปเชื่อมต่อด้านบนของตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบล่า ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ก, ข โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในที่มืดและในที่ที่มีรังสีอาทิตย์ตกกระทบ CPC พบว่า การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยรังสีอาทิตย์อาทิตย์พร้อมด้วยการประยุกต์ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์มีประสิทธิภาพมากที่สุด มีประสิทธิภาพประมาณ 90% เนื่องจาก ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเป็นสารกึ่งตัวนำที่ทำให้รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบมีผลต่อการเปลี่ยนโครงสร้างของเชื้อแบคทีเรีย มากกว่าการที่ทดสอบในที่มืด เนื่องจากการทดสอบในที่มืดไม่มีตัวกลางที่เข้ามาช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา ผลการศึกษาของความเข้มข้นของแบคทีเรียชนิด *E. coli* และเวลา



ก. อุปกรณ์การทดสอบ



ข. ผลของเชื้อจุลินทรีย์ต่อระยะเวลา

รูปที่ 2.19 อุปกรณ์การทดสอบและผลการทดสอบ ของ Sichel และคณะ [32]

สุทธิรักษ์ ศรีไพโรจน์ [12] ศึกษาปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสของฟิล์มคอมโพสิตระหว่างไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) และซิลเวอร์ (Ag) บนกระเบื้องเซรามิกในการสลายสารอินทรีย์และยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ฟิล์มบางซิลเวอร์ไททาเนียมไดออกไซด์เตรียมขึ้นด้วยวิธีโซล-เจล โดยมีไททาเนียมบิวทอกไซด์ ($\text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$) และซิลเวอร์ไนเตรดเป็นสารตั้งต้น โดยศึกษาปริมาณ Ag ในสัดส่วนร้อยละ 1, 5, 10 และ 50 mole จากนั้นเคลือบฟิล์มบนกระเบื้อง ด้วยการจุ่มเคลือบและศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาฟิล์มตั้งแต่ $450^\circ\text{C} - 650^\circ\text{C}$ ในบรรยากาศเป็นเวลา 30 min ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณของซิลเวอร์ (Ag) เพิ่มขึ้นจะทำให้การเกิดผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการสลายสารอินทรีย์ลดลง พบว่าปฏิกิริยาการสลายดีโรดามีนบีเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และค่าคงที่การเกิดปฏิกิริยาสูงสุดคือ $0.337/\text{Hours}$ ผลการยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* และ *Aspergillus niger* บนฟิล์มบาง TiO_2 1%Ag/ TiO_2 และ 10%Ag/ TiO_2 พบว่า ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อทั้งสองชนิดสูงขึ้นเมื่อปริมาณซิลเวอร์เพิ่มขึ้นโดยมีร้อยละการเหลือรอดของ *Escherichia coli* และ *Aspergillus niger* บนฟิล์มบาง 10%Ag/ TiO_2 เท่ากับ 12.64 และ 37.86 ภายใต้อัตราไวโอเลต และ 25.86 และ 47.86 ภายใต้อัตราฟลูออเรสเซนซ์

McLoughlin และคณะ [33] ศึกษาประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อในน้ำโดยใช้รังสีอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกับรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเลต โดยแบบและขนาดของ photo reactor ในการทดลองประกอบด้วย ตัวสะสมความร้อนรูปประกอบพาราโบลาที่ติดตั้งที่ Plataforma Solar de Almeria และมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโดยใช้แบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* K12 มีพื้นที่ในการให้แสงสว่างขนาด 3 m^2 และ 1 m^2 โดยในการทดสอบมีการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น $0-9\text{ mg/l}$ พบว่า แบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* K12 สามารถกำจัดได้ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นประมาณ $1 \times 10^5\text{ CFU/ml}$ ทั้งที่ใช้ไททาเนียมและไม่ใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ ระดับของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนี้ในปริมาณ 35 L ของการเพิ่มปริมาณของเชื้อเข้าสู่ระบบ พบว่าสามารถกำจัดได้ในเวลา 30 min สำหรับการเพิ่มไททาเนียมไดออกไซด์เข้ามาในกระบวนการทำให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นได้ในปริมาณ 3 mg/l dose ถึงอย่างไรก็ตามผลลัพธ์ที่ได้เสนอแนะอาจมีความเป็นไปได้ว่าการยับยั้งเชื้อกลไกอื่น ๆ ได้ไม่ว่าจะเป็นความถี่ของการสัมผัสกับรังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเลต

Alrousan และคณะ [30] ศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* K12 โดยการใช้ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบริเวณผิวน้ำ พบว่า ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเหมาะสมสำหรับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* K12 มีปริมาตรเท่ากับ 0.5 mg/cm^2 โดยจากรายงานกล่าวว่าสำหรับกรดและการย่อยสลายสารจะมีความคล้ายคลึงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบลงบนผิวไททาเนียมไดออกไซด์ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่บนผิวน้ำจะเป็นตัวทำให้เกิดเปลี่ยนแปลงในอัตราการกระตุ้นการฆ่าเชื้อเมื่อเทียบกับในน้ำกลั่น ผลกระทบขององค์ประกอบน้ำที่ตรวจสอบในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเห็นว่ามีไอออนของสารอนินทรีย์จะมีส่วน

ซัลเฟตและไนเตรต โดยผลของซัลเฟตมีความเด่นชัดมากกว่าไนเตรต ค่า pH ของน้ำที่ไม่มีส่วนสำคัญในกระบวนการนี้ระหว่าง pH 5.5 - 8.5

Liu และคณะ [34] ศึกษาประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อ *Escherichia coli* ด้วย TiO_2 และ Ag/TiO_2 โดยใช้แสงและไม่ใช้แสง ซึ่งเตรียม TiO_2 ด้วยวิธีโซล-เจล และเคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยวิธีหมุนเวียนเคลือบ เเผาที่อุณหภูมิ $450\text{ }^\circ\text{C}$ และเตรียม Ag/TiO_2 โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรต (0.05 mol/L) เติมลงในสารละลาย TiO_2 โดยใช้ฟิล์มสัมผัสกับเชื้อเป็นเวลา 15 min และนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฟลูออเรสเซน (Fluorescence microscope) เพื่อศึกษาลักษณะความเสียหายของเซลล์ พบว่า การใช้ TiO_2 เพียงอย่างเดียว สามารถฆ่าเชื้อได้ 60% และการใช้ Ag/TiO_2 สามารถฆ่าเชื้อได้ 82.5% และการใช้รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเล็ตร่วมด้วยสามารถฆ่าเชื้อได้ 93% และพบว่าแบคทีเรียแกรมลบจะถูกทำลายมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ขนิษฐา หทัยสมิทธิ์ [8] ศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์ ได้แก่ เชื้อจุลินทรีย์ทั่วไปและ *Escherichia coli* (*E. coli*) โดยการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต A ที่ความยาวคลื่นแสง 365 nm ลงบนแบคทีเรียที่กระจายตัวบนกระจกที่ไม่เคลือบและเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ซึ่งเคลือบโดยเทคนิครีเอกทีฟดิซีแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริง โดยฟิล์มมีความหนาประมาณ 300 nm ขนาดเกรนประมาณ 40 nm แสงที่ฉายมีความเข้มต่างกันที่ 0.5, 1.5 และ 11 mW/cm^2 ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่ระยะเวลาฉายแสง 30 min เปอร์เซ็นต์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไปและ *E. coli* มีค่าเท่ากับ 8.23-19.95% และ 10.18-14.85% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อแสงมีความเข้มมากขึ้นก็มีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า กระจกที่เคลือบด้วยฟิล์ม TiO_2 มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคติดต่อในมนุษย์มากกว่าจุลินทรีย์ทั่วไป

ญานิสสา ดันติปาสกุล [35] ศึกษาวิธีการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวด้วยแสง พบว่า ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนแก้วมีความสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10-20 nm และเมื่อนำฟิล์มที่ได้ไปทดสอบสมบัติการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง โดยใช้สารลดแรงตึงผิว 3 ชนิด คือ DodecylBenzensulfonic acid Sodium salt (DBS), HexadecylPyridinium Chloride (CPC) และ triton X-100 พบว่า อัตราเร็วในการย่อยสลายของสารทั้งสามชนิดนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้น 1.6-1.8 เท่า เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำเสียสังเคราะห์ และจากการคำนวณ พบว่า ฟิล์มบางที่เตรียมมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวใกล้เคียงกับผงไททาเนียมนาโน DegussaP-25 เมื่อเทียบโดยมีปริมาณสารเท่ากัน

Gelover และคณะ [36] ศึกษาผลของการใช้ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ผลึกแบบอนาเทส (Anatase) ในกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง (Photocatalytic Degradation) ของ 4-คลอโรฟีนอล (4-Chlorophenol) และคาร์บาริวั (Carbaryl) ซึ่งเป็นสารพิษจากยาฆ่าแมลง (Carbamic pesticide) โดยใช้เทคนิค โซล-เจล (Sol-Gel) เคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์บนชิ้นแก้วทรงกระบอกขนาดเล็ก ความหนาเฉลี่ย 600 nm และมีแบนแกป (Band gap) เท่ากับ 3.28 eV ผลที่ได้พบว่า ปฏิกิริยาในการย่อยสลายด้วยแสง (Photocatalytic Degradation) ที่ใช้ TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในรูปของฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพเทียบเท่าได้กับ TiO_2 ที่เป็นผงของแข็ง Degussa P-25 ซึ่งเป็นมาตรฐาน

สุจิตรา นาวารัตน์ [37] ศึกษาการกำจัดสปอร์ของแบคทีเรีย *Bacillus Subtilis* และ *Escherichia Coli* ในน้ำเสียโรงพยาบาล ด้วยวิธีการเติมคลอรีน การใช้รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเลตซี และการใช้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่มีไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า ความเข้มข้นของคลอรีนหลงเหลือ 1 ppm มีประสิทธิภาพการกำจัด *E. coli* ได้ 89.74% ในเวลา 30 min แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัด *B. subtilis* ขณะที่รังสีอาทิตย์อัลตราไวโอเลตซี ความเข้มข้นรังสีอาทิตย์อยู่ที่ 2.10.01 mW/cm^2 สามารถกำจัดสปอร์ของ *B. subtilis* ได้ 100% ภายใน 120 min ส่วนปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส พบว่าเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 226 mMolar สามารถกำจัด *B. subtilis* ได้ 91% ภายในระยะเวลา 30 min

Sunada K. และคณะ [38] ศึกษากลไกของ Photokilling ของเซลล์ *Escherichia coli* บนแผ่นฟิล์มของ TiO_2 โดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการอยู่รอดของเซลล์ที่มีผนังเซลล์สมบูรณ์และเซลล์ที่ถูกกลบผนังเซลล์ออกจนหมด (Spheroplast) ภายใต้การฉายรังสีอาทิตย์ พบว่า เซลล์ที่ถูกกลบผนังเซลล์ออกจนหมดจะถูกทำลายเร็วกว่าแบคทีเรียที่มีผนังเซลล์อย่างสมบูรณ์ในระยะเวลาการฉายรังสีอาทิตย์ที่เท่ากัน โดยแบคทีเรียที่ถูกกลบผนังเซลล์นั้นจะถูกทำลายที่เยื่อหุ้มชั้นนอกกับเยื่อหุ้มชั้นใน ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการป้องกันการถูกทำลายได้เร็วกว่า กล่าวได้ว่า กลไก Photokilling นั้น มีขั้นตอนการทำงานอยู่ 2 ขั้นตอนคือ เริ่มจากการสลาย Outer Membrane ซึ่งเป็นส่วนป้องกันการถูกทำลายของเซลล์ ต้องใช้เวลาในการสลายนาน จากนั้นจึงเข้าสู่สลาย Cytoplasmic Membrane และทำให้เซลล์ตายในที่สุด

Ibanez Jorge A. และคณะ [39] ศึกษาการทำลายเชื้อแบคทีเรีย *Enterobacter Cloacae* ร่วมกับแบคทีเรียชนิดแกรมลบตัวอื่น ได้แก่ *E.coli* และ *Salmonella typhimurium* ด้วยวิธีการย่อยสลายด้วยแสง (Photocatalytic) ของ TiO_2 โดยการฉายรังสีอาทิตย์ยูวี-เอ ช่วงความเข้มรังสีอาทิตย์ Photonflux ที่ 5.5 mW/cm^2 เป็นเวลา 40 min ลงไปในสารละลายเชื้อแบคทีเรีย พบว่า กระบวนการย่อยสลายด้วยแสง (Photocatalytic) ที่มี TiO_2 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยการออกซิเดชันผนังเซลล์แบคทีเรีย ส่งผลให้แบคทีเรียตาย ซึ่งกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงที่มี TiO_2 นั้น มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ถึงร้อยละ 99

2) ตัวรวมรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบล่าแบบสมมาตรและไม่สมมาตร

Thaveesin และ Wibulswas [40] ได้ทำการสร้างและทดสอบเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนจากแผงแบบแผ่นราบที่มีกระจกปิดด้านบนชั้นเดียว มีพื้นที่ 1.4 m^2 โดยใช้วัสดุต่างกัน 3 ชนิด แผงแรกใช้ท่อทองแดงสี่เหลี่ยมให้ของเหลวไหลผ่าน ใช้ครีบทองแดงเป็นตัวรับรังสีอาทิตย์ แผงที่สองใช้ท่อทองแดงกลมติดครีบทองแดง และแผงที่สามใช้ท่อทองแดงกลมติดครีบทองแดงนิย่ม ผลการทดสอบปรากฏว่า แผงรับรังสีอาทิตย์ชนิดท่อทองแดงสี่เหลี่ยมติดครีบทองแดงให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด ส่วนแผงที่สามนี้ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำสุด แต่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งต่ำสุดเมื่อมีการใช้งานเชิงความร้อนเท่าๆ กัน จึงได้รับความนิยมในการสร้างครั้งต่อไป

ชนเทพ ทิพยราชศักดิ์ [41] ได้พัฒนาตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบล่าแบบไม่สมมาตร (ACPC) ให้สามารถผลิตน้ำร้อนควบคู่ไปด้วย เพื่อที่จะนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการ Solarization โดยค่าของอุณหภูมิที่ระดับความลึกต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกันประมาณ $41.25 \text{ }^\circ\text{C}$ ที่ระดับความลึกไม่เกิน 50 cm และเมื่อทดสอบเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Ralstonia* ที่เป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวในพืช พบว่าสามารถลดปริมาณเชื้อได้เหลือเพียง 9.3%, $7.9 \times 10^{-2}\%$ และ $8.2 \times 10^{-4}\%$ ภายในระยะเวลา 1, 2 และ 4 hrs ตามลำดับ และเพื่อให้การทำน้ำร้อนจาก ACPC ได้ค่าสูงสุด จึงได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาอัตราการไหลที่เหมาะสม พบว่า ค่าของอุณหภูมิน้ำแปรผกผันกับอัตราการไหล และระยะระหว่างท่อควรห่างกันประมาณ 15 cm และนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปทำนายค่าอุณหภูมิดินตลอดปี 2544 พบว่าการใช้กระบวนการ Solarization ร่วมกับ ACPC และน้ำร้อน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในดิน (45°C) ได้ตลอดปี

Mallick และคณะ [42] ศึกษาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อระบบถ่ายโอนความร้อนในลักษณะของตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบล่าแบบไม่สมมาตร (ACPC) ที่ติดตั้งบริเวณรอบตึกในสหรัฐอเมริกา พบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่เป็นไปได้สำหรับเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ที่ $95 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นอุณหภูมิที่คาดการณ์ไว้สำหรับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผ่นฉนวนที่ 1000 W/m^2 โดยอาจจะลด

ประสิทธิภาพของเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ลดลงประมาณ 25% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้งานของแผงเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่มีเงื่อนไขตามลักษณะมาตรฐาน ความเร็วของอากาศที่ไหลเข้า 1 m/s ในช่องกว้าง 20 mm ซึ่งครอบคลุมระหว่างช่องรับรังสีอาทิตย์อาทิตย์และการสะท้อนของรังสีอาทิตย์อาทิตย์ ซึ่งอุณหภูมิลดลง 298.4°C (25.4 K) การลดอุณหภูมิจะสามารถทำได้โดยมีการปรับปรุงช่องอากาศเข้า โดยให้ด้านหลังติดแผ่นอะลูมิเนียมไว้ ทั้งความกว้างของช่องอากาศขนาด 10 และ 20 mm โดยที่ด้านหน้าและด้านหลังมีอากาศผ่านด้วยความเร็ว 0.1, 0.5 และ 1.0 m/s และความเร็วของอากาศที่คาดการณ์ในพื้นที่ช่องขนาดเล็กเนื่องจากลักษณะของขอบเขตสิ่งแวดล้อมและอุณหภูมิ ดังนั้นสำหรับเงื่อนไขทั้งหมดที่ได้กำหนดขึ้นเพื่อหาอุณหภูมิสูงสุดบนแผ่น aperture และพื้นผิวเซลล์รังสีอาทิตย์อาทิตย์ เห็นว่าอุณหภูมิสูงสุด 307.2°C (34.2 K) เมื่อด้านหน้าและด้านหลังช่องอากาศมีขนาด 20 mm ความเร็วอากาศที่ปากทางเข้า 1.0 m/s

Adsten และคณะ [43] ศึกษาการประเมินค่าพลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์สะสมรายปีและปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพรังสีอาทิตย์อาทิตย์เฉลี่ยรายปี การกระจายรังสีอาทิตย์อาทิตย์บนแผ่นดูดกลืนของตัวรับรังสีอาทิตย์รูปประกอบพาราโบลาแบบไม่สมมาตร (ACPC) ที่มีแผ่นดูดกลืน 2 ด้าน โดยจะทำการวัดมุมทั้ง 3 มุม บนแผ่นดูดกลืน โดยใช้ Photo diode การวัดประสิทธิภาพรังสีอาทิตย์อาทิตย์เฉลี่ยรายปีและความสัมพันธ์ของพลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่สะสมรายปีจะถูกกำหนดขึ้นอยู่กับความหนาของครีบบนแผ่นดูดกลืน 0.5 mm และ 1.0 mm และสำหรับตัวสะสมความร้อนจะเคลือบด้วย Teflon เพื่อช่วยในการลดการพาความร้อนออกรอบๆแผ่นดูดกลืน จะทำการติดตั้งในพื้นที่ที่มีรังสีอาทิตย์อาทิตย์ตกกระทบมาก พบว่า เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบพลังงานของตัวสะสมความร้อนปรากฏว่าความร้อนเมื่อวัดที่มุม 20° จะมีค่าพลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์ที่ได้มากกว่าที่มุม 65° และพลังงานสะสมรายปีมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 6-8% ถ้าครีบบนแผ่นดูดกลืนความร้อนหนาขึ้น 0.5-1.0 mm นอกจากนี้ประสิทธิภาพพลังงานรังสีอาทิตย์อาทิตย์เฉลี่ยรายปีมีความสัมพันธ์ไม่ขึ้นกับมุมของตัวกระทบผิวตัวดูดกลืน สำหรับตัวดูดกลืนมีครีบนหนา 0.5 mm ประสิทธิภาพที่คำนวณได้จะอยู่ระหว่าง 0.87-0.88 ตัวดูดกลืนมีครีบนหนา 1.0 mm ประสิทธิภาพที่คำนวณได้จะอยู่ที่ 0.92