

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 มลภาวะอากาศภายในอาคาร

มลภาวะอากาศภายในอาคารซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพและประสิทธิภาพการทำงานของผู้อาศัยหรือใช้เวลาอยู่ในอาคารสามารถจำแนกออกได้คร่าว ๆ เป็น 3 ประเภทด้วยกันดังประกอบด้วย 1) สิ่งปนเปื้อนทางเคมี (chemical contaminants) ได้แก่ ก๊าซ ไอกรด และ สารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น 2) สิ่งปนเปื้อนทางชีววิทยา (biological contaminants) ได้แก่ แบคทีเรีย ไวรัส และละอองเกสร เป็นต้น 3) อนุภาคมลสาร (particulates) ได้แก่ ฝุ่น และ เขม่าควัน เป็นต้น (วิภาดา สมองราษฎร์ และ วิภาวี ขำวิจิตร, 2547)

### 2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับมลภาวะอากาศภายในอาคาร

ผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์จากการได้รับมลภาวะอากาศภายในอาคารสามารถจำแนกออกได้เป็นแบบเฉียบพลัน (acute) เรื้อรัง (chronic) ความไม่สบาย (discomfort) และผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน (performance) ผลกระทบแบบเฉียบพลันเกิดขึ้นทันทีทันใดหลังจากได้รับมลภาวะอากาศ ซึ่งก่อให้เกิดอาการทั่ว ๆ ไปดังนี้คือ ปวดศีรษะ ระบายท้องและจุก ซึ่งโดยปกติแล้วอาการเหล่านี้จะหายไปอย่างรวดเร็วหลังจากไม่ได้รับมลภาวะอากาศเหล่านั้นแล้ว ส่วนผลกระทบแบบเรื้อรังเป็นผลเนื่องมาจากการได้รับมลภาวะอากาศเป็นเวลายาวนานต่อเนื่อง ซึ่งอาการที่พบมากที่สุดคือโรคหอบเรื้อรัง สำหรับผลกระทบอื่น ๆ ที่พบได้ทั่วไปอันได้แก่ โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ การระบายท้อง จุก และคอ โดยที่ผลกระทบเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับสภาวะอากาศภายในอาคาร ส่วนผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงาน สามารถบ่งบอกได้จากความมีสมาธิและความสามารถในการทำงานที่ลดลง (วิภาดา สมองราษฎร์ และ วิภาวี ขำวิจิตร, 2547)

### 2.3 การเกิดมลภาวะอากาศภายในอาคาร

องค์ประกอบที่สำคัญของการเกิดมลภาวะอากาศในอาคาร ได้แก่ แหล่งกำเนิด (Sources) และการระบายอากาศที่ไม่เหมาะสม (poor ventilation) การพิจารณาว่าแหล่งกำเนิดใดก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดสามารถพิจารณาได้จาก 2 ปัจจัยด้วยกันดังนี้คือ ปริมาณของมลภาวะอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกมา และความเป็นอันตรายของมลภาวะอากาศนั้น ๆ เนื่องจากมลภาวะอากาศภายในอาคารสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากภายในอาคารและภายนอกอาคาร (จากมลภาวะอากาศภายนอกอาคารที่ปนเปื้อนมากับอากาศที่ไหลเข้ามาแลกเปลี่ยนกับอากาศภายในอาคาร) ดังนั้นการป้องกันและลดมลภาวะอากาศภายในอาคารจึงควรกระทำควบคู่กันไปทั้งการควบคุมและบำบัดมลภาวะอากาศที่อยู่ในอาคารโดยใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีต่าง ๆ และการควบคุมให้มีการระบายอากาศที่

เพียงพอซึ่งเป็นอากาศสะอาดและไม่ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของมลภาวะอากาศภายในอาคาร รวมไปถึงการควบคุมมลภาวะอากาศที่แหล่งกำเนิด เทคโนโลยีโดยทั่วไปที่ใช้ในการบำบัดมลภาวะอากาศสามารถแบ่งออกได้คร่าว ๆ เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดอนุภาคมลสาร ยกตัวอย่างเช่น High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter, ion generator, และ electronic air cleaners และเทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลภาวะอากาศที่เป็นก๊าซ เช่น กระบวนการดูดซับ (adsorption processes) เป็นต้น (วิภาดา สนองราษฎร์ และ วิภาวี ขำวิจิตร, 2547) โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการวิจัยนี้จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

การระบายอากาศ (ventilation) หรือการแลกเปลี่ยนอากาศภายในและภายนอกอาคาร (air exchange) จัดเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการลดปริมาณมลภาวะอากาศภายในอาคาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดูแลระบบระบายอากาศ รวมไปถึงระบบทำความร้อนและความเย็นในอาคารอย่างเหมาะสม และไม่ให้มีสิ่งกีดขวางการระบายอากาศหรือควันจากการประกอบอาหาร อีกทั้งผู้ที่อาศัยหรือทำงานอยู่ในอาคารควรปฏิบัติตามกฎของอาคารนั้น ๆ อย่างเคร่งครัด เช่น ไม่ควรสูบบุหรี่ในบริเวณใกล้กับช่องทางระบายอากาศภายนอกอาคาร

การควบคุมมลภาวะอากาศที่แหล่งกำเนิดสามารถปฏิบัติได้อย่างง่าย ๆ เช่น ลดการใช้สารเคมีซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดมลภาวะอากาศ ไม่สูบบุหรี่ภายในอาคารหรือสูบบุหรี่เฉพาะในบริเวณที่จัดไว้เท่านั้น รวมถึงมีจัดการกับมูลฝอย และระบบทำความร้อนและความเย็นอย่างถูกวิธี อีกทั้งควรทำความสะอาดอาคารที่พักอาศัยและสำนักงานเป็นประจำเพื่อช่วยลดมลภาวะอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอาคาร และควรติดต่อเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องหรือผู้ดูแลทางด้านมลภาวะอากาศหากมีข้อสงสัยหรือคาดว่ามีปัญหามลภาวะอากาศเกิดขึ้นในอาคาร

## 2.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในการบำบัดมลภาวะอากาศภายในอาคาร

### 2.4.1 กระบวนการกรอง

แผ่นกรองใยที่ใช้ทั่วไปในวงการอุตสาหกรรม มีหลายลักษณะและทำด้วยวัสดุชนิดต่างๆ ขึ้นกับประเภทการใช้งาน เมื่ออากาศเสียไหลผ่านแผ่นกรองใยเหล่านี้ อนุภาคที่ปะปนอยู่ในกระแสก๊าซจะถูกเส้นใยและชั้นอนุภาค ที่เกิดขึ้นกักไว้ จากนั้นเมื่ออนุภาคที่ถูกกักอยู่นี้ สะสมจนไม่สามารถกรองต่อไปได้ ก็จะทำการเปลี่ยนแผ่นกรอง กลไกในการเก็บอนุภาคของเครื่องกรองใยประกอบด้วย interception, inertial impaction, และ diffusion ซึ่งประสิทธิภาพการเก็บของเครื่องกรองใยสามารถหาได้หากทราบประสิทธิภาพการเก็บของแต่ละเส้นใย ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า เส้นใยซ้อนกันเป็นชั้น ๆ ตั้งฉากกับการไหลของก๊าซ และ อนุภาคกระจายอย่างสม่ำเสมอในก๊าซที่ต้นทางการไหลเข้าเครื่องกรอง ดังนั้นสภาพการทับถม (deposition) ของอนุภาคบนเส้นใยจะสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพของเครื่องกรองอาจหาได้จากสมการที่ 2.1 หรือ 2.2 (Noll, 1999)

$$\eta_o = 1 - \exp\left(\frac{-4c\eta_f L}{\pi D(1-c)}\right) \quad (2.1)$$

หรือ

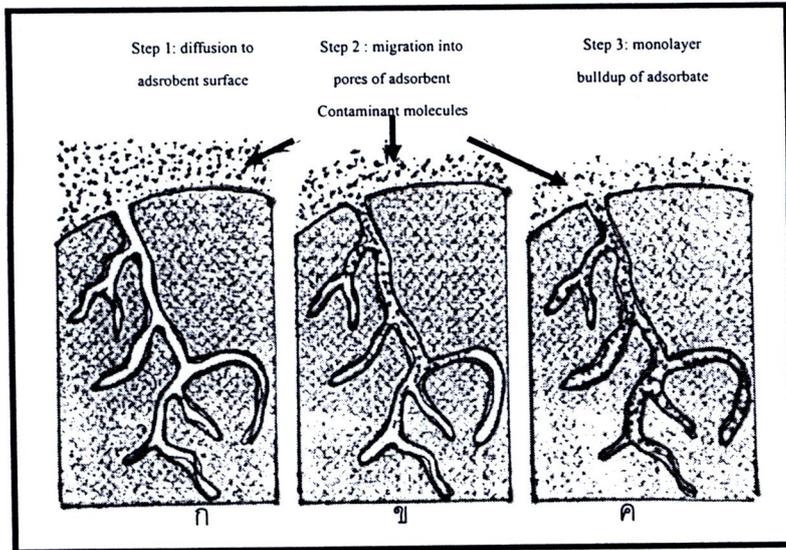
$$\eta_o = 1 - \exp\left(\frac{-4\eta_f L(1-\varepsilon)}{\pi D\varepsilon}\right) \quad (2.2)$$

โดยที่ คือ  $\eta_o$  ประสิทธิภาพการเก็บรวมของเครื่องกรอง  $c$  คือความหนาแน่นของเส้นใยของเครื่องกรอง  $D$  คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย  $\eta_f$  คือประสิทธิภาพการกรองของเส้นใย  $L$  คือความยาวในทิศทางการไหลของอากาศ และ  $\varepsilon$  คือความพรุน (porosity) ของตัวกรอง ซึ่งเท่ากับ  $1 - c$  อย่างไรก็ตาม ดิสมการที่ 2.1 สามารถใช้ได้กับตัวกรองที่สะอาดเท่านั้น ซึ่งในระหว่างการกรองประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับชั้นอนุภาคที่ทับถมบนเส้นใยของตัวกรอง สำหรับเครื่องกรองที่สะอาดความดันตกจะมีค่าประมาณ 1.25 ซม. ของน้ำ แต่ประสิทธิภาพจะมีค่าต่ำ เมื่อผ่านการกรองไประยะหนึ่งอนุภาคจับกันเป็นแผ่น ความดันตกจะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 5.0-7.5 ซม. ของน้ำ แต่ประสิทธิภาพการกรองจะเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 99% และเมื่อความดันตกเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 12.5-15 ซม. ของน้ำ ต้องทำความสะอาดใยกรองหรือเปลี่ยนแผ่นกรอง เพื่อลดความดันตกให้น้อยลง (Noil, 1999)

#### 2.4.2 กระบวนการดูดซับ

กระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของสารไปเกาะบนผิวหน้าของของแข็งหรือของเหลวด้วยแรงทางฟิสิกส์หรือทางเคมี (physical or chemical forces) สารที่ไปเกาะเรียกว่า สารที่ถูกดูดซับ (Adsorbate) และของแข็งหรือของเหลวที่มีพื้นผิวให้สารนั้นเกาะเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) โดยทั่วไปการดูดซับเกิดขึ้น 3 ขั้นตอน (Cheremisinoff and Ellerbusch 1978)

- ก) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแพร่ผ่านจาก bulk phase ไปยังผิวด้านนอกของตัวอนุภาค (ดังรูป 2.1 ก.)
- ข) โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวด้านนอกซึ่งมีพื้นที่น้อยไปยังรูพรุนภายในอนุภาคที่มีพื้นที่ผิวมากกว่าและการดูดซับทั้งหมดก็จะเกิดภายในรูพรุนนี้ (ดังรูป 2.1 ข.)
- ค) โมเลกุลของตัวของตัวถูกดูดซับจะยึดติดอยู่ที่ผิวภายในรูพรุน (ดังรูป 2.1 ค.)



รูปที่ 2.1 กลไกการดูดซับ (Cheremisinoff and Ellerbusch 1978)

ของแข็งที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับนี้จะต้องมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง หรือมีความพรุนมาก (high porosity) ของแข็งที่มีคุณสมบัติเหล่านี้ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) และ ซิลิกาเจล (silica gel) เป็นต้น ซึ่งตัวดูดซับ (adsorbent) เหล่านี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือ

- ก) ของแข็งที่ไม่มีขั้ว (nonpolar solids) การดูดซับจะเป็นแบบกายภาพเป็นส่วนใหญ่ ตัวดูดซับที่สำคัญคือ ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งใช้ในการแยกก๊าซไฮโดรคาร์บอน สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Carbon, VOC) เป็นต้น
- ข) ของแข็งที่มีขั้ว (polar solids) การดูดซับจะเป็นแบบเคมี เนื่องจากโพลาริตี (polarity) แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลหรือผิวของของแข็งเกิดขึ้น ตัวดูดซับที่ใช้ทั่วไปได้แก่พวกออกไซด์ของซิลิกอน หรือของอะลูมิเนียม ซึ่งเหมาะสำหรับดูดโมเลกุลที่มีขั้ว เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น
- ค) ผิวดูดซับทางเคมี (chemical adsorbing surfaces) ซึ่งดูดโมเลกุลต่าง ๆ แล้วปล่อยออกหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ซึ่งอาจเป็นแบบมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalytic reactions) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของผิว หรือเป็นแบบไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา (noncatalytic reactions) ซึ่งต้องการการทดแทนของอะตอมที่อยู่ที่ผิวของของแข็ง

โดยตัวดูดซับที่ใช้ในการวิจัย คือ ถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีข้อมูลทั่วไปดังต่อไปนี้

ASTM (American Society for Testing and Material) (ASTM, 1995) ได้ให้คำนิยามของ ถ่านกัมมันต์ไว้ว่าเป็นวัสดุจำพวกคาร์บอน ซึ่งผลิตได้จากวัตถุดิบที่มีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูงมาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับ (adsorptive properties) ที่ดีขึ้น โดยมีนิยามของการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ว่า เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของสารในสถานะของไหล (fluid) ไปจับบนผิวของถ่านกัมมันต์ด้วยแรงทางเคมีหรือกายภาพ (chemical or physical forces) หรือแรงทั้งสองชนิดร่วมกัน

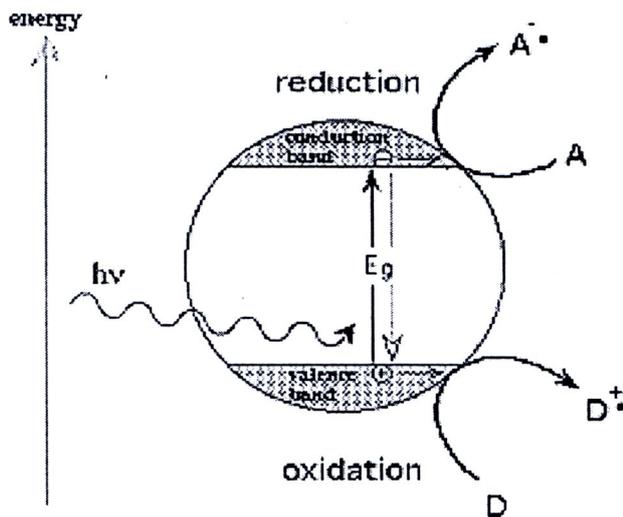
ถ่านกัมมันต์เริ่มมีการผลิตในศตวรรษที่ 17-18 ซึ่งมีการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นมาใช้โดยนำไม้มาเผาในบริเวณที่มีอากาศจำกัด ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ส่วนมากจะนำไปใช้ในโรงงานถลุงแร่และใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ต่อมามีการค้นพบว่าถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับได้ดี และพบว่าการใช้ถ่านปริมาณเล็กน้อยสามารถกำจัดสีและกลิ่นในของเหลวชนิดต่างๆ ได้ เช่น ไวน์ และ น้ำตาล คุณสมบัติการดูดกลิ่นและก๊าซของถ่านกัมมันต์ เริ่มเป็นที่สนใจกันในระหว่าง สงครามโลกครั้งที่ 1 ความต้องการหน้ากากสำหรับป้องกันก๊าซพิษมีมากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นสำหรับฟอกสีน้ำตาลมีลักษณะเบาและพองไม่เหมาะที่จะทำใส่กรองก๊าซพิษเนื่องจากต้องใช้ปริมาณมาก จากจุดนี้เองจึงส่งผลให้มีการค้นคว้าวิจัยถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นซึ่งมีความสามารถในการดูดซับสูง เพื่อใช้เป็นใส่กรองหน้ากากก๊าซพิษ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ ให้ความหนาแน่นมากขึ้นสำหรับใช้ในการดูดก๊าซและต่อมาสงครามสงบลงการค้นคว้าก็ประสบผลสำเร็จ และมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การดูดไอของสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น

โดยทั่วไปชนิดของถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งได้เป็น หลายประเภทขึ้นอยู่กับเกณฑ์ในการแบ่ง ที่ใช้ในการพิจารณา ซึ่งถ้าแบ่งตามลักษณะของรูปร่างจะได้ 2 ประเภทคือ ประเภทผง (Powder) และ ประเภทเกล็ด (Granule) ถ่านกัมมันต์ประเภทผง เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผงใช้สำหรับฟอกสีในของเหลว ดูดกลิ่นสารละลายได้หลายชนิด ถ่านกัมมันต์ประเภทเกล็ด เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดที่ได้จากการอัดผ่านเครื่องอัดหรืออาจทำเป็นเกล็ด ใช้สำหรับทำก๊าซให้บริสุทธิ์ และดูดซับสารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น (ซึ่งเป็นประเภทที่ใช้ในการวิจัยนี้)

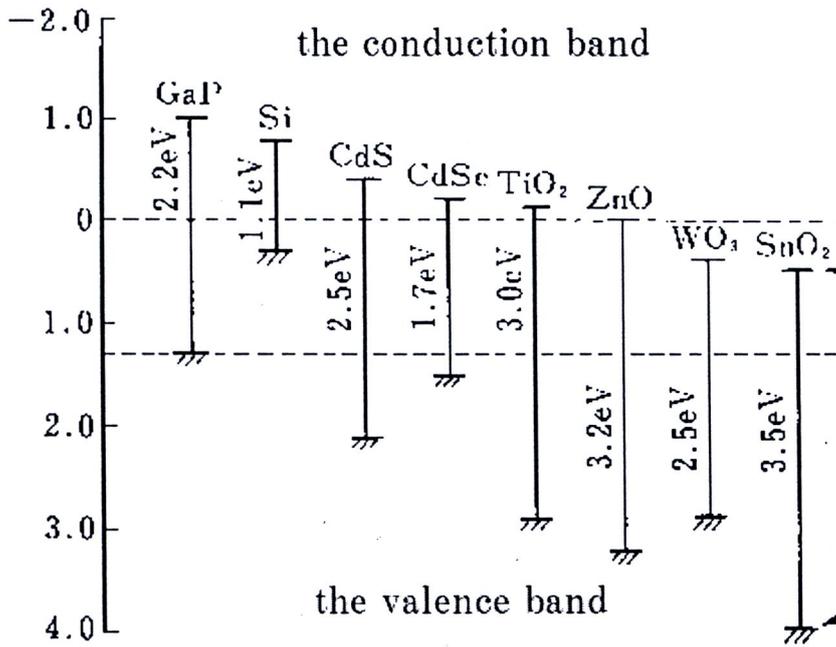
### 2.4.3 กระบวนการโฟโตคะตาไลซิส

กระบวนการโฟโตคะตาไลซิส เป็นกระบวนการที่มีการใช้ทั้งในด้านการบำบัดน้ำและอากาศให้บริสุทธิ์ ซึ่งหลักเบื้องต้นของกระบวนการโฟโตคะตาไลซิส คือ การกระตุ้นปฏิกิริยาโดยการฉายแสง (Photo) ไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้น โดยสารอินทรีย์ในน้ำหรืออากาศ จะถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นสารผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้าย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ และน้ำ (Obee and Brown, 1995) ในกระบวนการโฟโตคะตาไลซิส โครงสร้างของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกตามโครงสร้างพลังงานของอิเล็กตรอน ได้เป็น 2 แถบพลังงาน แถบพลังงานที่มีพลังงานอิเล็กตรอนสูง เรียกว่า วาเลนซ์แบนด์ (valence band) อีกด้านหนึ่งเป็นแถบพลังงานที่ไม่มีพลังงานอิเล็กตรอนเรียกว่า คอนดักชันแบนด์ (conduction band) โดยแถบพลังงานทั้งสองจะถูกแยกออกจากกันด้วยระยะห่างซึ่งเรียกว่า แบนด์แกป (band gap) โดยโครงสร้างอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาจะแสดงดังรูปที่ 2.2 ค่าของช่องว่างพลังงาน (energy gap, Eg) จะขึ้นอยู่กับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดจะมีค่าช่องว่างพลังงานแตกต่างกันออกไป โดยสามารถ

แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ไททาเนียมไดออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ ) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้กันมากที่สุดในงานด้านสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีเสถียรภาพที่สุด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม หลังการใช้งานจะเกิดการกัดกร่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อีกทั้งยังมีราคาไม่แพงมากเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาตัวอื่นๆ ในงานด้านสิ่งแวดล้อมมีการใช้ไททาเนียมไดออกไซด์อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นด้านการทำงานน้ำให้บริสุทธิ์ การบำบัดน้ำเสีย การควบคุมของเสียอันตรายและการบำบัดอากาศ ไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมีรูปแบบของผลึกอยู่ 3 รูปแบบได้แก่แอนาเทส (anatase) รูไทล์ (rutile) และบรูคไคท์ (brookite) แต่ผลึกที่นิยมนำมาใช้ด้านการบำบัดน้ำเสียมีอยู่ 2 ชนิดคือ แอนาเทส (anatase) และรูไทล์ (rutile) (Litter, 1999) ซึ่งผลึกทั้งสองแบบนี้มีค่าช่องว่างพลังงานแตกต่างกัน แอนาเทสมีค่า  $E_g = 3.3 \text{ eV}$ . ส่วน รูไทล์มี  $E_g = 3.1 \text{ eV}$ . ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิสนั้น แอนาเทสจะมีศักยภาพที่สูงกว่ารูไทล์



รูปที่ 2.2 กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสที่เกิดขึ้นเมื่อมีการฉายแสงลงบนอนุภาคของคะตะลิส (Litter, 1999)



รูปที่ 2.3 ค่าช่องว่างพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดต่าง ๆ (Litter, 1999)

กระบวนการโฟโตคะตาไลซิสประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การดูดซับ (adsorption) และการฉายแสง (irradiation)

### ก. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)

กระบวนการดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพและเคมี เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสารหรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิว (interface) กระบวนการดูดซับสามารถเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวน้ำของ 2 สถานะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว ก๊าซกับของเหลว ก๊าซกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง การดูดซับเกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิว (interface) โดยการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายของเหลวหรือก๊าซจากสถานะที่เป็นของเหลวหรือก๊าซไปยังสถานะที่เป็นของแข็ง โดยโมเลกุลที่ถูกดูดซับเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ใช้ในการดูดซับเรียกว่าสารดูดซับ (adsorbent) (Alberici and Jardim, 1997)

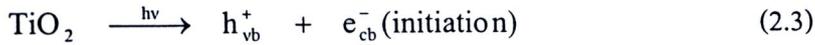
### ข. กระบวนการฉายแสง (Irradiation)

เมื่อมีการฉายแสงด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในระดับที่มากกว่าหรือเท่ากับค่า bandgap ตกกระทบลงบนอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะมีอิเล็กตรอนเลื่อนหลุดออกมาและกระโดดข้ามฝั่งของวาเลนซ์แบนด์ไปยังฝั่งคอนดักชันแบนด์ พร้อม ๆ กันนั้น ทางฝั่งของวาเลนซ์แบนด์ก็จะเกิดช่องว่างขึ้น เรียกว่า โฮล (hole ( $h^+$ )) อิเล็กตรอนกับโฮลนี้มีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยจะมีการรับและให้อิเล็กตรอนของฝั่งวาเลนซ์แบนด์และคอนดักชันแบนด์ตามลำดับ รวมเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) แต่ในขณะที่เดียวกันอิเล็กตรอนกับโฮลก็

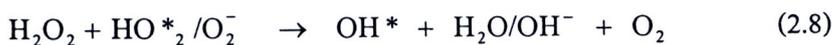
สามารถกลับมารวมตัวกันได้อีกในเวลาอันรวดเร็ว เรียกปฏิกิริยานี้ว่า รีคอมบิเนชัน (recombination) การรวมตัวระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล จะทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อนขึ้นและเป็นข้อจำกัดหลักของอัตราการเกิดปฏิกิริยาทั้งหมด (Alberici and Jardim, 1997)

กลไกโดยทั่วไปที่เกิดในกระบวนการโฟโตคะตาไลซิส สามารถแสดงได้ดังปฏิกิริยาต่อไปนี้ (Dechapanya, 1999)

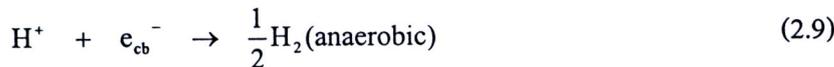
ปฏิกิริยาเริ่มต้นที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป :



ปฏิกิริยาการแพร่ที่เกิดขึ้น (The propagation reactions) :



ปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอน



จากสมการที่ 2.3 เมื่อไททาเนียมไดออกไซด์ได้รับพลังงานโฟตอน (Photon energy) ที่มากพอ จะก่อให้เกิดการกระตุ้นของวาเลนซ์อิเล็กตรอนจาก Valence band ไปยัง Conduction band ซึ่งพลังงานโฟตอนที่น้อยที่สุดที่ต้องการในการกระตุ้นอิเล็กตรอนจะมีค่าเท่ากับช่วงพลังงานของตัวเร่งปฏิกิริยานั้น ๆ สำหรับไททาเนียมไดออกไซด์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ มีช่วงพลังงานอยู่ประมาณ 3.2 อิเล็กตรอน โวลต์ ซึ่งเทียบเท่ากับแสงที่มีความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร (nm) conduction band electron อาจจะไปยังพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา หรือกลับไปรวมตัวกับ hole ภายใน lattice ของผลึก เป็นผลให้เกิดความร้อนและแสงฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นและ hole จะเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยารีดอกซ์ ที่เกิดขึ้นกับสารที่ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น น้ำ ไฮดรอกไซด์ไอออน ออกซิเจน และสารอินทรีย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาขั้นต้นสำหรับการย่อยสลายสารอินทรีย์ น่าจะเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับไฮดรอกซิลเรดิคัล (hydroxyl radicals, OH\*) ซึ่งกลไกของการก่อตัวของไฮดรอกซิลเรดิคัลได้อธิบายไว้โดยนักวิทยาศาสตร์หลายคน (Dechapanya, 1999) ทั้งนี้ขั้นตอนต่าง ๆ ของการก่อตัวของไฮดรอกซิลเรดิคัล อาจเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง  $h_{vb}^+$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  หรือ  $\text{OH}^-$  ดังแสดงในสมการ 2.4 และ 2.5 นอกจากนี้ไฮดรอกซิลเรดิคัลอาจจะก่อตัวมาจาก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) หรือ เปอร์ไฮดรอกซิลไฮดรอน (HO<sub>2</sub><sup>•</sup>) โดยปฏิกิริยาใดปฏิกิริยาหนึ่ง ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2.6 – 2.7 อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นอาจจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เกิดเป็น O<sub>2</sub><sup>•-</sup> ดังสมการที่ 2.10 ซึ่งเป็นผลให้เกิด OH<sup>•</sup> เช่นกัน หรืออาจจะทำปฏิกิริยากับ H<sup>+</sup> เกิดเป็นไฮโดรเจนภายใต้สภาวะไร้อากาศ ดังแสดงในสมการที่ 2.9 จากนั้นไฮดรอกซิลเรดิคัลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ จนเกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้าย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (Obee and Brown, 1995)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ได้แก่ ความเข้มแสง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารอินทรีย์ระเหยง่ายในอากาศ ปริมาณของสารคะตะลิสต์ที่ใช้ในกระบวนการ และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (Dechapanya, 1999)