

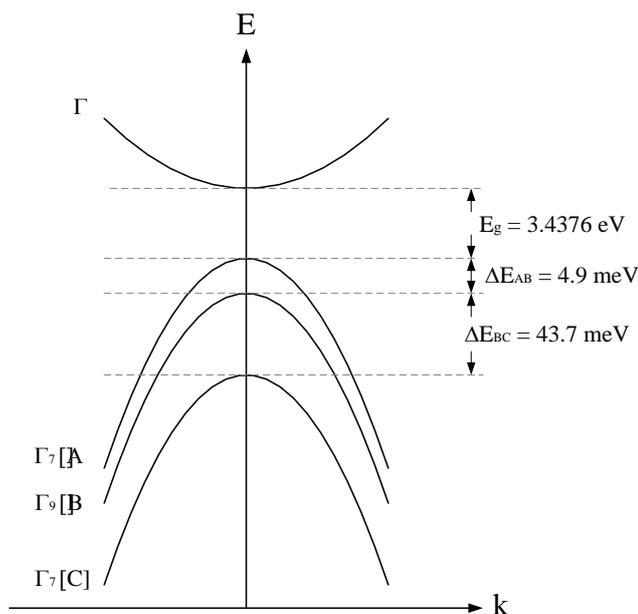
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎี

##### 2.1.1 สังกะสีออกไซด์ (zinc oxide, ZnO)

สังกะสีออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีขนาดของช่องว่างพลังงานกว้าง (wide band gap) เท่ากับ 3.37 eV และมีพลังงานยึดเหนี่ยวคู่อิเล็กตรอนโฮล (exciton binding energy) ประมาณ 60 meV (Coleman and Jagadish, 2006) การที่มีสมบัติแถบพลังงานกว้างทำให้สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ทางแสง ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้หลากหลาย โดยสารกึ่งตัวนำนี้สามารถใช้ทดแทนสารกึ่งตัวนำบางชนิดที่มีราคาแพง เช่น ซิลิกอน (Si) แกลเลียมไนไตรด์ (GaN) หรือมีองค์ประกอบของโลหะหนักที่เป็นพิษ เช่น แคดเมียมออกไซด์ (CdO) และ แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา สังกะสีออกไซด์สามารถนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลายสาขา อาทิ การแพทย์ เกษษกรรม ทันตกรรม เกษตรกรรม อุตสาหกรรม ยืนยันได้จากปริมาณการใช้สังกะสีออกไซด์ทั่วโลกสูงกว่า 1 ล้านตันต่อปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา (Zinc Oxide, Retrieved December 21, 2009, from <http://toxnet.nlm.nih.gov>) โดยส่วนใหญ่ใช้ในการผลิต อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ยางรถยนต์ ซีเมนต์ เครื่องแก้ว เซรามิกส์ สี ปุ๋ยเคมี เครื่องสำอาง ยาสามัญประจำบ้าน และเคมีภัณฑ์ที่ใช้ทั่วไปในครัวเรือน จนถึงในระดับอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ อีกทั้งมีแนวโน้มที่จะใช้ประโยชน์มากขึ้นในอนาคต ทำให้นักฟิสิกส์ เคมี วัสดุศาสตร์ และวิศวกร ต่างพัฒนาวิธีการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย อาทิเช่น Chemical vapor transport and condensation Chemical vapor deposition Hydrothermal Thermal evaporation Sol-gel Microwave assisted Template-based growth Pulsed laser deposition Ion beam implantation Molecular beam epitaxy Plasma sputtering (Shi, Cao, Zhao, Song, and Rong, 2008) เป็นต้น โดยสามารถลดขนาดของโครงสร้างสังกะสีออกไซด์ให้เล็กลงจนมีขนาดอยู่ในระดับนาโน ทำให้มีความบริสุทธิ์สูงและมีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น อีกทั้งเทคนิคเหล่านี้ยังสามารถควบคุมให้สังกะสีออกไซด์มีโครงสร้าง และคุณลักษณะเฉพาะที่โดดเด่นแตกต่างกันออกไปตามต้องการ เพื่อประยุกต์ใช้ในงานที่แตกต่างกันทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น Organic LED Short-wavelength LED Ethanol gas sensor Dye-sensitized solar cell UV laser Transparent conductor Piezoelectric material (Gustafsson, Cao, Treacy, Klavetter, Colaneri, and Heeger, 1992; Gupta and Compaan, 2006; Hou, Xiong, Xie, Li, Zhang, and Tian, 2004)



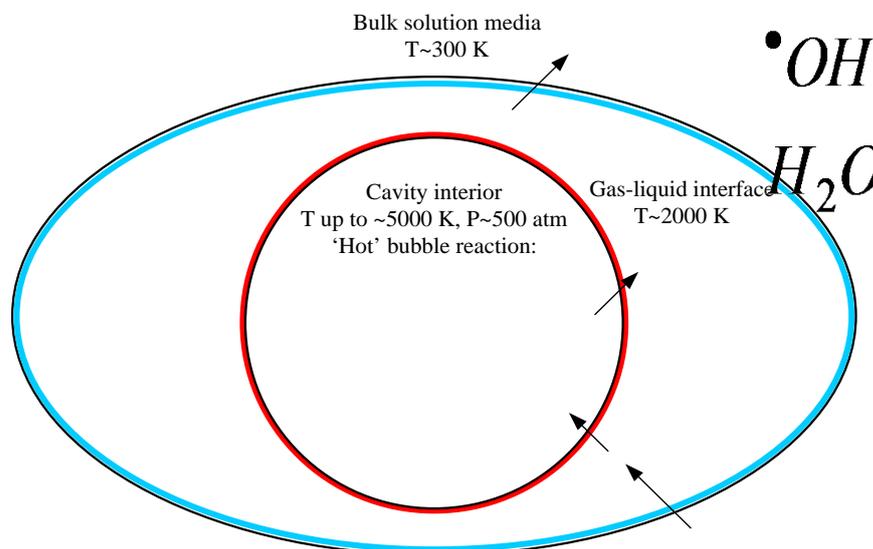
**รูปที่ 2.1** โครงสร้างแถบพลังงานของสังกะสีออกไซด์  
(ที่มา: ดัดแปลงจาก Coleman and Jagadish, 2006)

### 2.1.2 โซโนเคมีสทรี (Sonochemistry)

โซโนเคมีสทรีเป็นวิธีการสังเคราะห์ผลึกที่อาศัยคลื่นเสียงความถี่สูงหรือคลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasonic wave) ในกระบวนการทางเคมี ได้แก่ การแตกพันธะเคมีและการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีให้เกิดการฟอร์มผลึกทั้งแบบสัณฐานและอสัณฐาน โดยคำว่า “โซโน” เป็นภาษาละตินมีความหมายว่า “เสียง” โซโนเคมีเป็นปรากฏการณ์ของกลไกการเปลี่ยนแปลงสภาพของฟองอากาศภายในของเหลวอันเนื่องมาจากพลังงานเสียงหรือที่เรียกว่า อะคูสติก คาวีเทชัน (acoustic cavitation) ประกอบด้วย การเกิด (creation) การเติบโต (growth) และการแตกของฟองก๊าซ (collapse of bubbles) ในช่วงเวลา (Suslick, Hammerton, and Cline, 1986) ในขั้นตอนแรกของการเกิดฟองอากาศนั้นต้องอาศัยพลังงานของเสียงที่มีความเข้มสูงกว่า 10 วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (Mason and Lorimer, 2002) ซึ่งเพียงพอที่จะสลายพันธะเคมีของสารละลายให้แตกออกจากกันเป็นอนุพันธ์ของไอออนบวกและลบ (อนุพันธ์เหล่านี้เองที่เป็นตัวชักนำหรือกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์มากมาย (Adewuyi, 2001) รวมทั้งไอ (diffused vapor) ของสารละลาย ซึ่งไอดังกล่าวนี้เป็นตัวการของการฟอร์มนิวเคลียสของฟองก๊าซในของเหลว โดยพลังงานความเข้มเสียงในตัวกลาง สามารถคำนวณได้จากสูตร (Mason and Lorimer, 2002)

$$I = \frac{P_A^2}{2\rho c} \quad (1)$$

- เมื่อ  $I$  เป็นความเข้มของคลื่นเสียง  
 $P_A$  เป็นแอมพลิจูดของความดันเสียง  
 $\rho$  เป็นความหนาแน่นของของตัวกลาง  
 $c$  เป็นความเร็วเสียงในตัวกลาง



รูปที่ 2.2 ไตอะแกรมกระบวนการอะคูสติกควิเทชั่น (acoustic cavitation) ในสารละลาย (ที่มา: ดัดแปลงจาก Adewuyi, 2001)

ขั้นต่อมาจะเกิดการแพร่ของไอของสารละลายเข้าไปในฟองก๊าซเพิ่มขึ้น จนทำให้มีขนาดเพิ่มขึ้น และในท้ายที่สุดฟองก๊าซเหล่านั้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 10-300 ไมครอน ที่ไม่สามารถจะทนแรงดันภายในได้อีก ก็จะเกิดการระเบิดจากภายในฟองก๊าซ (implosive collapse) โดยจะปลดปล่อยความร้อนสูงถึง 5,000 เคลวิน และความดัน 200-500 ความดันบรรยากาศ ที่บริเวณเฉพาะตำแหน่งของแต่ละฟองก๊าซ (local implosion) อย่างรวดเร็ว ( $<10^{-9}$  s) เวลาที่สั้นมาก ส่งผลให้เกิดอัตราการเย็นตัวสูงมาก ( $>10^{11}$  K/s) (Hiller, Putterman, and Barber, 1992)

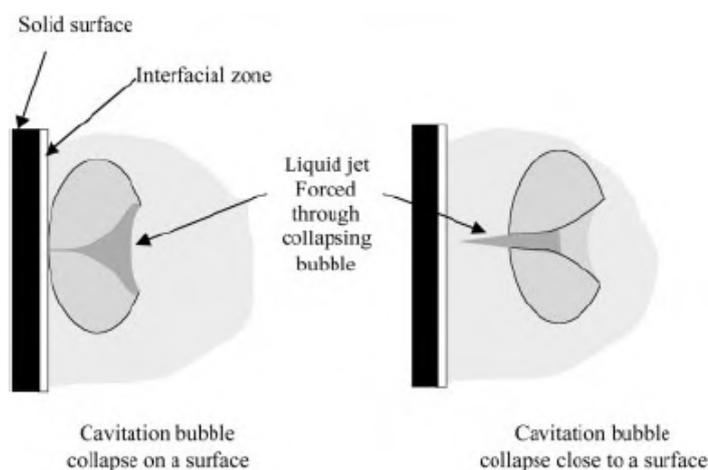
อุณหภูมิและความดันสูงสุดของการระเบิดของฟองก๊าซแบบแอดิยาแบติก (adiabatic collapse of the bubble) สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Mason and Lorimer, 2002)

$$T_{\max} = T_0 \left\{ \frac{P_m (K-1)}{P} \right\} \quad (2)$$

$$P_{\max} = P \left\{ \frac{P_m (K-1)}{P} \right\}^{K/(K-1)} \quad (3)$$

- เมื่อ  $T_0$  เป็นอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม  
 $K$  เป็น polytropic index ของก๊าซผสม  
 $P$  เป็นความดันภายในฟองก๊าซ ณ ขณะที่มีขนาดใหญ่ที่สุด  
 $P_m$  เป็นความดันในของเหลวชั่วขณะที่เกิดจากการแตกตัวของฟองก๊าซ

ผลของกระบวนการโซโนเคมีก่อให้เกิดเจ็ทสตรีม (jet stream) จากการแตกตัวของฟองก๊าซ ส่งผลให้เกิดแรงเฉือน (shear force) และคลื่นกระแทก (shock wave) (Mason and Lorimer, 2002; Prozorov, Prozorov, and Suslick, 2004) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการชนกันของอนุภาคด้วยความเร็วสูงและรุนแรง เกิดความร้อนสูงในตำแหน่งที่ชนจนเกิดการหลอม (local melting) ของอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในสารละลาย โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็งและของเหลวเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดการฟอร์มเป็นผลึกของสารขึ้น ดังนั้นวิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และปฏิกิริยาเกิดอย่างรวดเร็ว ช่วยประหยัดพลังงาน เวลา และค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.3 เจ็ทสตรีม (jet stream) ที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของฟองก๊าซในของเหลว (ที่มา: Mason and Lorimer, 2002)

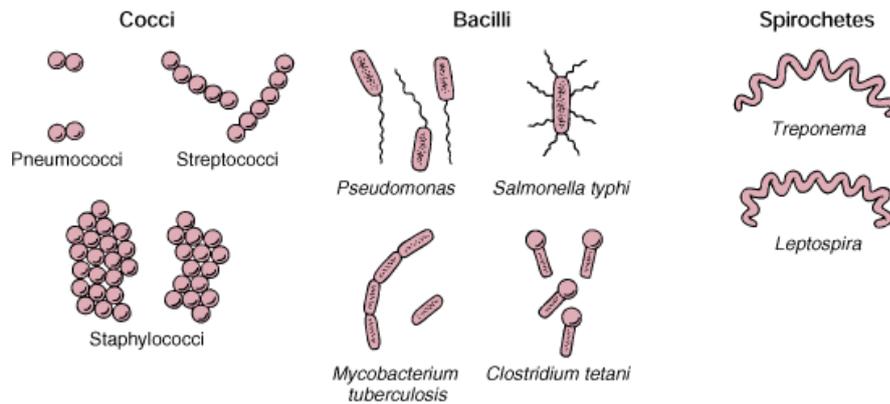
### 2.1.3 แบคทีเรีย (Bacteria)

แบคทีเรีย คือจุลินทรีย์ที่เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่เป็นเซลล์แบบโปรคาริโอต (prokariotic cell) มีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น (Microorganism) พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ดิน น้ำ อากาศ อีกทั้งยังพบในสิ่งแวดล้อมที่บีบคั้น (extreme conditions) เช่นน้ำพุร้อนหรือใต้ทะเลลึก แบคทีเรียขยายพันธุ์โดยการแบ่งตัวแบบทวิภาค (binary fission) คือแบ่งจากหนึ่งเป็นสองเซลล์เท่าๆ กัน ระยะเวลาแบ่งเซลล์เรียกว่า generation time ซึ่งแบคทีเรียแต่ละชนิดจะใช้เวลาไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรียและสภาพแวดล้อม (ในดินพบแบคทีเรียได้มากกว่า  $10^{10}$  โคลโลนี/กรัม) แบคทีเรียมีบทบาทสำคัญต่ออาหารและการผลิตอาหาร แบคทีเรีย

บางชนิดสามารถทำให้เกิดโรคในมนุษย์ได้จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสีย (microbial spoilage) และทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์, <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/>) ในขณะเดียวกันก็มีแบคทีเรียบางชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์เป็นอย่างมาก เช่น lactic acid bacteria นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในการหมักอาหาร (fermentation) และการบำบัดของเสีย เช่น การกำจัดน้ำเสีย (waste water treatment) แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถอยู่เป็นอิสระนอกในร่างกายมนุษย์ได้ มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่จำเป็นจะต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของมนุษย์เพื่อการดำรงชีวิต

1) ขนาดและรูปร่างของแบคทีเรีย: แบคทีเรียมีขนาด 0.5-1 ไมโครเมตร (micron) การจะมองเห็นตัวแบคทีเรียนั้นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงอย่างน้อย 400 ถึง 1,000 เท่า (พนัส เฉลิมแสนยากร, <http://haamor.com/>) รูปร่างของแบคทีเรียที่มองเห็นได้นั้นมีหลายรูปแบบเช่น รูปร่างกลมซึ่งเรียกว่า คอคคัส (Coccus) และรูปร่างเป็นแท่งเรียกว่า บาซิลลัส (Bacillus) มีได้ทั้งเป็นแท่งสั้นและเป็นแท่งยาว อยู่รวมเป็นกลุ่ม อยู่เดี่ยว ๆ หรือเรียงตัวต่อกันเป็นสายคล้ายสายสร้อย เป็นต้น ซึ่งรูปร่างของแบคทีเรียเหล่านี้เป็นสิ่งที่ใช้บอกชนิดของแบคทีเรียเบื้องต้นได้ นอกจากนั้น การที่จะมองเห็นตัวเชื้อแบคทีเรียได้ยังจำเป็นต้องย้อมสีแบคทีเรียเสียก่อน วิธีย้อมสีแบคทีเรียทางการแพทย์เรียกว่าการย้อมสีแกรม (Gram stain) ซึ่งเชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดจะติดสีแกรมแตกต่างกันไป ถ้าติดสีน้ำเงินเรียกว่าติดสีแกรมบวก (Gram positive) ถ้าย้อมแล้วแบคทีเรียติดสีแดงเรียกว่าติดสีแกรมลบ (Gram negative) การติดสีแกรมที่ต่างกันนี้สามารถนำมาใช้บอกชนิดของแบคทีเรียเบื้องต้นได้เช่นกัน โดยรูปร่างแบบต่างๆ ของแบคทีเรียแบ่งได้ดังนี้

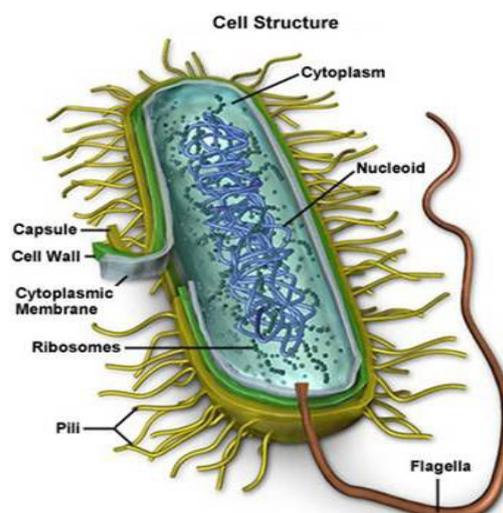
- บาซิลลัส (bacillus) มีรูปร่างเป็นท่อนหรือเป็นแท่งเช่น Bacillus, Clostridium, Pseudomonas, Salmonella
  - สเตรปโทบาซิลลัส (Streptobacillus) เมื่อแบ่งเซลล์แล้วเรียงตัวต่อเป็นสายยาว
  - ท่อนโค้ง (curverod) เช่น Vibrio
- ทรงกลมหรือค็อกคัส (coccus) เช่น
  - ไมโครค็อกคัส (Micrococcus) เป็นแบคทีเรีย เซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก
  - ดิพโคค็อกคัส (Diplococcus) เมื่อแบ่งเซลล์แล้วติดกันเป็นคู่
  - สเตรปโทค็อกคัส (Streptococcus) แบ่งตัว เรียงตัวเป็นสายยาว เหมือนโซ่
  - สเตรฟีโลค็อกคัส (Staphylococcus) เป็นลักษณะของ เซลล์ทรงกลมแบ่งตัวหลายระนาบ อยู่ติดกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น เช่น *Staphylococcus aureus*
- สไปโรคีท (Spirochete) รูปร่างบิดเป็นเกลียว ผนังเซลล์ยืดหยุ่นได้ เช่น *Campylobacter jejuni*



รูปที่ 2.4 รูปร่างของแบคทีเรียแบบต่างๆ

(ที่มา: <http://www.ibri.org/RRs/RR051/51Fitplace.html>)

2) โครงสร้างของแบคทีเรีย: แบคทีเรียมีโครงสร้างและหน้าที่ที่เรียบง่ายที่สุดในบรรดาสสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย (วีรานุช หลาง, 2551 : 2) แบคทีเรียทุกชนิดมีโครงสร้างห่อหุ้มเซลล์และโปรโตพลาสซึม ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเซลล์ ไรโบโซมและนิวคลีออยด์เกือบทุกชนิดมีผนังเซลล์ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบเซลล์อื่นๆ ได้แก่ ผนังเซลล์ (cell wall) เซลล์เมมเบรน (cell membrane) ไซโทพลาสซึม (cytoplasm) โครโมโซมเดี่ยว (single chromosome) และ ไรโบโซม (ribosomes) และในแบคทีเรียบางชนิดจะพบ แคปซูล (capsules) ไกลโคแคลิกซ์ (glycocalyx) พิลไล (pili) หรือพิมเบรีย (fimbriae) มีโซโซม (mesosome) แฟลกเจลลา (flagella) อินคลูชันแกรนูล (inclusion granule) และ สปอร์ (bacterial spore) รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของแบคทีเรียที่พบทั่วไป



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแบคทีเรีย

(ที่มา: <http://haamor.com/>)

### 3) การแบ่งชนิดของแบคทีเรีย: สามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้

3.1) แบ่งตามการติดสีย้อมแกรม (Gram stain) ถ้าติดสีน้ำเงินเรียกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (Gram positive bacteria) ถ้าติดสีแดงเรียกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (Gram negative bacteria)

3.2) แบ่งตามรูปร่างของแบคทีเรีย เช่น แบคทีเรียรูปร่างกลมเรียกว่าคอคคัส (Coccus) แบคทีเรียรูปร่างเป็นแท่งเรียกว่า บาซิลลัส (Bacillus)

3.3) แบ่งตามการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย ทั้งนี้ชนิดต่างๆ ของแบคทีเรียทำให้มีความแตกต่างในด้านต่างๆ เช่น แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเรียกว่า แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) แบคทีเรียที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิตเรียกว่า แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria)

#### 3.4) การเกิดโรค

- แบคทีเรียชนิดแกรมบวกมักทำให้เกิดโรคแบบติดเชื้อเป็นหนองที่ผิวหนัง ทางเดินหายใจส่วนต้น (จมูกและลำคอ) และปอดบวม
- แบคทีเรียชนิดแกรมลบมักทำให้เกิดโรคที่ระบบทางเดินอาหาร ระบบทางเดินปัสสาวะ และถุงน้ำดี
- แบคทีเรียชนิดแอโรบิกมักทำให้เกิดโรคในอวัยวะที่มีออกซิเจนพอเพียงเช่น ผิวหนัง ช่องปาก ปอด ทางเดินหายใจ กระเพาะปัสสาวะ
- แอนแอโรบิกแบคทีเรียมักทำให้เกิดโรคในบริเวณที่มีออกซิเจนน้อยเช่น เชื้อบาดทะยัก (โรคบาดทะยัก) ซึ่งเป็นแอนแอโรบิกแบคทีเรียชนิดหนึ่งทำให้เกิดโรคในแผลลึกๆ ที่ถูกตะปูตำหรือการติดเชื้อในช่องท้องที่เกิดจากการทะลุของลำไส้ เป็นต้น

#### 3.5) ความรุนแรงของโรค

- แบคทีเรียชนิดแกรมบวกที่รูปร่างเป็นคอคคัสมักทำให้เกิดการอักเสบเป็นหนองที่ผิวหนัง ต่อมทอนซิล ทางเดินหายใจ ปอด อาการมักจะไม่รุนแรง และรักษาได้ผลดีด้วยยาปฏิชีวนะในกลุ่มเพนิซิลลิน (Penicillin)
- แบคทีเรียชนิดแกรมลบที่รูปร่างเป็นบาซิลลัสมักทำให้เกิดโรคในทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ไต ถุงน้ำดี ไส้ติ่ง (โรคไส้ติ่งอักเสบ) การรักษายากกว่าเพราะมักต้องยาปฏิชีวนะ (เชื้อดื้อยา) และมีโอกาสที่เชื้อจะแพร่ไปในกระแสเลือด (ภาวะพิษติดเชื้อ) เกิดภาวะช็อกตามมาได้
- แบคทีเรียชนิดแอโรบิกมักทำให้เกิดโรคที่ผิวหนัง ช่องปาก ทางเดินหายใจ ปอด อาการมักไม่รุนแรง และรักษาหายได้ด้วยยาปฏิชีวนะที่ใช้อยู่ทั่วไป
- แบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงเช่น โรคบาดทะยัก เพราะมีการสร้างสารพิษออกมาจากเชื้อแบคทีเรียที่มีผลต่อระบบประสาท (Neurotoxin) สามารถเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ การติดเชื้อแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกในช่องท้อง

มักจะดื้อต่อยาปฏิชีวนะทั่วไป และต้องใช้ยาปฏิชีวนะชนิดพิเศษที่เฉพาะเจาะจงต่อแบคทีเรียชนิดนี้ทำให้การรักษาไม่ค่อยได้ผล

### 3.6) การใช้ยา

- แบคทีเรียชนิดแกรมบวกรูปร่างคอคคัสส่วนใหญ่ใช้รักษาด้วยยาปฏิชีวนะในกลุ่มเพนิซิลลิน
- แบคทีเรียชนิดแกรมลบรูปร่างบาซิลลัสจะใช้รักษาด้วยยาปฏิชีวนะในกลุ่มซัลฟา (Sulfonamide) เซฟาโลสปอริน (Cephalosporin) อมิโนกลัยโคไซด์ (Aminoglycoside) เป็นต้น
- แบคทีเรียชนิดแอโรบิกรักษาด้วยยาปฏิชีวนะหลายกลุ่มเช่น เพนิซิลลิน ซัลฟา อมิโนกลัยโคไซด์
- แอนแอโรบิกแบคทีเรียมักต้องรักษาด้วยยาปฏิชีวนะในกลุ่ม Carbapenem เป็นต้น

## 4) ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของแบคทีเรีย

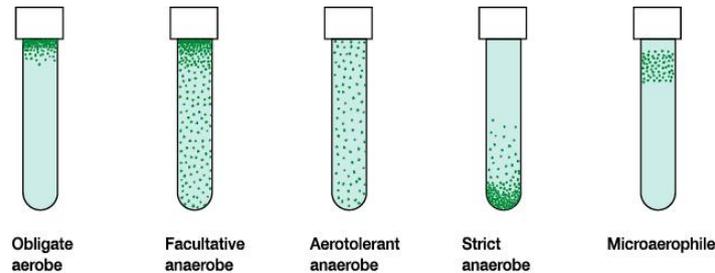
### 4.1) สารอาหาร

- แหล่งคาร์บอน (carbon source) แหล่งคาร์บอนอยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และสารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต
- แหล่งของอิเล็กตรอน (electron source) แบคทีเรียต้องการอิเล็กตรอนเพื่อใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึม พวกที่ใช้สารอินทรีย์ เป็นแหล่งอิเล็กตรอนเรียก Lithotroph ส่วนพวกที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอิเล็กตรอน เรียก organotroph
- แหล่งไนโตรเจน (nitrogen source) แหล่งของไนโตรเจนมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ แหล่งที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น กรดอะมิโน เพปไทด์ โปรตีน แหล่งที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น แกลูตามิโนไทเรต ไนเตรต หรือ แอมโมเนียม
- แหล่งของออกซิเจน ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ออกซิเจนได้มาจากหลายแหล่ง เช่น น้ำ และสารอาหาร แหล่งของซัลเฟอร์อาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ ซัลเฟอร์มีความจำเป็น ในการสังเคราะห์กรดแอมิโนบางชนิดแหล่งของฟอสเฟตอาจอยู่ในรูปของฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบของกรดนิวคลีอิก นิวคลีโอไทด์ ฟอสโพลิพิด กรดไทโคอิก และสารอื่นๆ
- ไอออนของโลหะหนัก ไอออนของโลหะหนักมีความจำเป็นต่อการเจริญตามปกติของแบคทีเรีย เช่น  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$  เป็นต้น ซึ่งบางชนิดอาจทำหน้าที่เป็น co-factor ที่สำคัญของเอนไซม์ต่างๆ
- วิตามิน แบคทีเรียต้องการวิตามินในปริมาณน้อย แต่วิตามินมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตและการเจริญมาก โดยทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ในปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ

### 4.2) ความต้องการออกซิเจน

- แบคทีเรียที่เจริญได้ในที่มีอากาศเท่านั้น (obligate aerobic bacteria หรือ obligate aerobe)

- แบคทีเรียที่เจริญในที่ที่ไม่มีอากาศเท่านั้น (obligate anaerobic bacteria หรือ strict anaerobe)
- แบคทีเรียที่เจริญได้ทั้งที่มีและไม่มีอากาศ (facultative anaerobic bacteria หรือ facultative anaerobe)
- แบคทีเรียที่เจริญได้ดีในที่ที่มีอากาศเล็กน้อย (microaerophile)



รูปที่ 2.6 ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรีย  
(ที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/>)

#### 4.3) อุณหภูมิ

- แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic bacteria)
- แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic bacteria)
- แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิต่ำ (psychrophilic bacteria)

#### 4.4) ปริมาณน้ำ (moisture content) และวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity)

แบคทีเรียก่อโรค หรืออาจเรียกว่า การติดเชื้อ หรือการอักเสบติดเชื้อ (Infection) ให้แก่มนุษย์ได้ด้วยวิธีการหลายอย่างเช่น

- สารพิษ (Toxin) ออกมาจากตัวแบคทีเรีย และสารพิษนั้นจะทำลายเซลล์ของมนุษย์ หรือทำให้เซลล์ของมนุษย์ทำหน้าที่ผิดไปเช่น เชื้อสแตฟีโลคอคคัส (Staphylococcus) จะสร้างสารโคแอกูเลส (Coagulase) คอยขัดขวางการแข็งตัวของเลือด หรือเชื้ออีโคไล (*E. coli* หรือ *Escherichia coli*) สร้างสารพิษเอ็นโดท็อกซิน (Endotoxin) ทำให้เกิดภาวะช็อก
- กระตุ้นให้ร่างกายตอบสนองด้วยการอักเสบ เกิดอาการปวด บวม แดง ร้อน ในบริเวณที่มีการติดเชื้อ และผลของการอักเสบส่วนหนึ่งจะทำให้เกิดการทำลายเนื้อเยื่อปกติที่อยู่ใกล้เคียง และเกิดอาการไข้ตัวร้อน
- แบคทีเรียบางชนิดจะเข้าไปอยู่ภายในเซลล์ของมนุษย์ แย่งอาหารของเซลล์ และทำให้เกิดการตายของเซลล์

อนึ่ง แบคทีเรียจะแบ่งตัวเพิ่มปริมาณในร่างกายมนุษย์และแพร่กระจายไปทั่วร่างกายได้ โดยไปทางหลอดเลือดน้ำเหลืองและหลอดเลือด เกิดภาวะติดเชื้อในกระแสโลหิตหรือภาวะพิษเหตุติดเชื้อ

(Septicemia) ก่อให้เกิดการอักเสบและการทำลายอวัยวะอื่นๆ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดภาวะช็อกจากการติดเชื้อ (Septic shock) และเสียชีวิตได้

#### 2.1.4 การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพ (Antimicrobial susceptibility testing)

การทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพเป็นการทดสอบว่าสารต้านจุลชีพชนิดใดมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในหลอดทดลอง (in vitro) เพื่อจะได้นำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการรักษาอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป (in vivo) และช่วยลดปัญหาเชื้อดื้อยา (วัชรินทร์ รังสีภาณุรัตน์, อิสยา จันทรวิธานุชิต, พรทิพย์ พึ่งม่วง, สมหญิง งามอรุณเลิศ และ สุมลรัตน์ ชูวงษ์วัฒน์, 2556 : 271) วิธีทดสอบในปัจจุบันจะอ้างอิงวิธีมาตรฐานของ Clinical and Laboratory Standard Institute (CLSI) โดยวิธีทดสอบมีสองวิธี ได้แก่ 1) Disk diffusion method (Kirby-Bauer method) และ 2) Dilution method ดังนี้

##### 1) Disk diffusion method (Kirby-Bauer method)

Disk diffusion method เป็นวิธีการทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพเชิงคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดย Kirby, Bauer, Sherris และ Turck ในปี ค.ศ. 1966 และได้รับการรับรองเป็นวิธีมาตรฐานโดย CLSI เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ผลที่ได้มีค่าสอดคล้องกับค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารต้านจุลชีพที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ มีหลักการคือ สารต้านจุลชีพจำนวนแน่นอนจะแพร่ออกจากแผ่นกระดาษกรองรูปกลมทุกทิศทาง เพื่อไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงที่ผิวหน้าอาหารแข็ง ความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพสูงสุดจะอยู่ที่ใกล้แผ่นกระดาษและลดลงตามระยะห่างจากแผ่นกระดาษ โดยสารต้านจุลชีพที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ช้ากว่าสารต้านจุลชีพที่มีน้ำหนักโมเลกุลขนาดเล็ก หลังจากบ่มเชื้อในสภาวะที่เหมาะสมแล้ว จะนำจานอาหารออกมาตรวจวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใสรอบแผ่นกระดาษที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรียถูกยับยั้งการเจริญ (inhibit zone) เป็นหน่วยมิลลิเมตร และนำไปเปรียบเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในตารางแปลผลมาตรฐาน (standard interpretive chart) ใน CLSI guideline รายงานผลเชิงคุณภาพเป็นไว (susceptible; S) ไวปานกลาง (intermediate; I) หรือดื้อยา (resistant; R) โดย

ไว (S) หมายถึงแบคทีเรียที่ทำการทดสอบถูกยับยั้งการเจริญด้วยระดับความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพที่ใช้ในการรักษาทางการแพทย์

ไวปานกลาง (I) หมายถึงแบคทีเรียที่ทำการทดสอบถูกยับยั้งการเจริญด้วยระดับความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพที่สูงกว่าระดับปกติในเลือด

ดื้อ (R) หมายถึงแบคทีเรียที่ทำการทดสอบจะไม่ถูกยับยั้งการเจริญด้วยระดับความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพขนาดปกติในเลือด

ข้อดีของการทดสอบ disk diffusion method

1. เป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว สามารถทดสอบสารต้านจุลชีพได้ถึง 12 ชนิด ในอาหาร MHA 1 จาน (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร) ผลการทดสอบที่ได้มีความสอดคล้องกับค่า MIC และเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกใช้ในรักษา

2. มีความเหมาะสมกับเชื้อแบคทีเรียที่ใช้เวลาการเจริญ 18-24 ชม. ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเชื้อก่อโรค

3. สังเกตการณ์ปนเปื้อนของเชื้ออื่นได้ง่ายกว่าวิธี Broth dilution

ข้อจำกัดของการทดสอบ disk diffusion method

1. ไม่เหมาะสมกับการทดสอบความไวต่อสารต้านเชื้อแบคทีเรียที่ใช้เวลาในการเจริญนานกว่า 24 ชม. และกลุ่มแอนแอโรบส์

2. ไม่ทราบระดับการไวและการดื้อยาของแบคทีเรียเป็นตัวเลขอย่างเด่นชัด

3. เกิดความผิดพลาดได้ง่ายจากการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวงใส การแปลผลและการรายงาน

## 2) Dilution method

Dilution method เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพเชิงปริมาณ ประกอบด้วยวิธี Broth dilution, agar dilution, Etest และชุดทดสอบความไวต่อสารต้านจุลชีพระบบอัตโนมัติ มีรายละเอียดดังนี้

### 2.1) Broth dilution method

Broth dilution method เป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบหาความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพเชิงปริมาณ โดยการเจือจางสารต้านจุลชีพในอาหารเหลวให้ได้ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ครอบคลุมค่าความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพที่พบในซีรัมของผู้ป่วยหลังได้รับสารต้านจุลชีพชนิดนั้นในระดับปลอดภัย และเติมเชื้อแบคทีเรียลงไปปริมาณที่ถูกต้องภายหลังบ่มเชื้อเป็นเวลา 18-24 ชม. ถ้าความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพสามารถยับยั้งหรือทำลายแบคทีเรียได้ อาหารเหลวนั้นจะใส ถ้ายับยั้งไม่ได้อาหารเหลวนั้นจะขุ่น วิธีนี้จะรายงานในเชิงปริมาณหรือเป็นตัวเลข โดยรายงานเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารต้านจุลชีพที่สามารถยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้อย่างสมบูรณ์ (minimal inhibitory concentration; MIC) มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ( $\mu\text{g/ml}$ ) ซึ่งสามารถนำไปทดสอบต่อเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารต้านจุลชีพที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ (minimal bactericidal concentration; MBC) และสามารถแปลผล MIC ตาม CLSI guideline ทำให้รายงานผลในเชิงคุณภาพได้

ข้อดีของการทดสอบ Broth dilution method

1. เป็นวิธีมาตรฐาน สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยและการอ้างอิงได้

2. สามารถรายงานผลได้ทั้งในเชิงปริมาณ (MIC) และเชิงคุณภาพ (S, I, R)

3. ทำให้ทราบระดับการดื้อยาของแบคทีเรียว่าดื้อหรือไวต่อยาเป็นตัวเลขอย่างชัดเจน

4. ทำให้ทราบค่า MBC

5. สามารถเลือกใช้วิธีทดสอบได้อย่างเหมาะสมกับงาน

6. สามารถนำไปทดสอบความไวต่อสารต้านจุลชีพกับเชื้อแอนแอโรบส์ได้  
ข้อจำกัดของการทดสอบ Broth dilution method

1. วิธีการค่อนข้างยุ่งยาก
2. ไม่เหมาะสมกับการทดสอบเชื้อแบคทีเรียที่เจริญในอาหารเหลวไม่ดี

## 2.2) Agar dilution method

หลักการทดสอบ agar dilution method จะเหมือนกับ Broth dilution method แต่จะแตกต่างกันที่ขั้นตอนการผสมสารต้านจุลชีพความเข้มข้นต่าง ๆ รวมกับวุ้นหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันก่อน รอให้อาหารแข็งก่อนที่จะเพาะเชื้อทดสอบลงไปโดยเครื่องมือพิเศษ ภายหลังจากบ่มเชื้อเป็นเวลา 18-24 ชม. ถ้าความเข้มข้นของสารต้านจุลชีพสามารถยับยั้งการเจริญได้จะไม่เห็นโคโลนีเจริญขึ้นมาบนอาหารเลี้ยงเชื้อ รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารต้านจุลชีพที่ยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ หรือ MIC หน่วยไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ข้อดีของวิธี agar dilution

1. สามารถรายงานผลได้ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ
2. ทำให้ทราบระดับต่อสารต้านจุลชีพของแบคทีเรียเป็นตัวเลข
3. เป็นวิธีที่เหมาะสมกับการทดสอบเชื้อแบคทีเรียจำนวนหลายสายพันธุ์
4. เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบเชื้อแบคทีเรียที่เจริญในอาหารเหลวไม่ดี

ข้อจำกัดของวิธี agar dilution

1. วิธีการค่อนข้างยุ่งยาก มีหลายขั้นตอน
2. เป็นวิธีที่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเพาะเชื้อคือ Steer's replicator

## 2.3) Epsilometer test (Etest)

Etest (AB Biodisk, Solna, Sweden) เป็นการทดสอบความไวของแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพที่มีจำหน่ายในเชิงการค้า ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดยใช้หลักการแพร่กระจายของสารต้านจุลชีพ มีความสะดวกในการปฏิบัติเหมือนการทดสอบ disk diffusion method และรายงานผลเป็นค่า MIC เหมือนการทดสอบ Broth หรือ agar dilution method โดยการวางแถบพลาสติก (strip) ขนาด 50 x 50 มิลลิเมตร ที่ตรึงสารต้านจุลชีพความเข้มข้นต่าง ๆ จากน้อยไปมากแบบต่อเนื่อง (continuous concentration gradient) บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton agar ที่ทำการเพาะเชื้อแบคทีเรียโดยวิธีเดียวกับการทดสอบ disk diffusion method แล้วนำจานอาหารไปบ่มในสภาวะที่เหมาะสมของเชื้อแต่ละสายพันธุ์ ถ้าสารต้านจุลชีพสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ จะเกิดวงใสรูปวงรี (inhibition ellipse zone) โดยตำแหน่งที่ขอบวงรีตัดกับแถบพลาสติกจะอ่านค่าเป็น MIC วิธีนี้มีข้อดีคือ ทำได้ง่าย สะดวก รายงานผลเป็นค่า MIC และสามารถนำมาทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียทั่วไปรวมทั้งแอนแอโรบส์และไมโครแบคทีเรีย แต่มีข้อด้อยคือ ราคาของแถบพลาสติก Etest ค่อนข้างแพง และแถบพลาสติก 1 แถบ จะประกอบด้วยสารต้านจุลชีพเพียงชนิดเดียว จึงทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียได้เพียงสายพันธุ์เดียว ทำให้ไม่เหมาะกับงานประจำที่ต้องทดสอบกับสารต้านจุลชีพหลายชนิด

2.4) ชุดทดสอบความไวต่อสารต้านจุลชีพระบบอัตโนมัติ (automated antimicrobial susceptibility testing system)

VITEK 1 และ VITEK 2 System (bioMerieux, Vitex, Durham, NC.) เป็นการทดสอบความไวของเชื้อแบคทีเรียต่อสารต้านจุลชีพระบบอัตโนมัติที่มีจำหน่ายในเชิงการค้า ประกอบด้วยการ์ดพลาสติกขนาดเล็กที่มีหลุมบรรจุสารต้านจุลชีพที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ และหลอดสำหรับดูดเชื้อที่ปรับความขุ่นแล้ว ปริมาตรที่แน่นอนใส่ในหลุมยาแต่ละหลุมแบบอัตโนมัติ และตู้ป้อนสำหรับป้อนการ์ดและอ่านผล (incubator-reader module) การอ่านผลจะเทียบความขุ่นของเชื้อแบคทีเรียในแต่ละหลุม ทุก 15 นาที กับหลุมควบคุมที่ไม่มีสารต้านจุลชีพ ทำการวิเคราะห์และแปลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์และรายงานผลเป็นค่า MIC ภายในเวลา 4-18 ชม. ขึ้นกับชนิดเชื้อ

Microscan WalkAway System (Dade Behring, Sacramento, Calif.) ประกอบด้วยถาดขนาดเล็ก (microdilution tray format) ที่มีหลุมบรรจุสารต้านจุลชีพความเข้มข้นต่าง ๆ จำนวน 96 หลุม อุปกรณ์สำหรับดูดเชื้อ (multiprong device) ใส่ในถาดหลุม ตู้ป้อนเชื้อ และอ่านผลการเจริญของเชื้อระบบอัตโนมัติ (incubator-reader unit) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) หรือระบบฟลูออโรมิเตอร์ (fluorometer) รายงานผลเป็นค่า MIC ภายในเวลา 18-24 ชม. หรือ 3.5-15 ชม. ตามลำดับ

## 2.2 สมมุติฐานและกรอบแนวคิดของโครงการวิจัย

ด้วยเหตุที่สังกะสีออกไซด์มีความโดดเด่น ทั้งในแง่คุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล และการประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง ทำให้เกิดสมมุติฐานการวิจัยว่าอนุภาคสังกะสีออกไซด์ที่มีรูปร่างผลึกจำเพาะ น่าจะควบคุมได้ด้วยวิธีเตรียมแบบโซโนเคมีคัล ก่อปรกกับการใช้เงื่อนไขของความเข้มข้นของสารตั้งต้น pH และเวลาที่ใช้สังเคราะห์ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อลักษณะรูปร่างของผลึกและอาจจะสามารถควบคุมรูปร่างของผลึกได้เช่นกัน สมมุติฐานที่ได้ อาจเพิ่มศักยภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียมากขึ้นอีกด้วย โดยการทดลองเบื้องต้นสามารถสังเคราะห์อนุภาคสังกะสีออกไซด์โครงสร้างระดับจุลภาคได้แล้ว เป้าหมายการวิจัยของโครงการนี้คือสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ที่อนุภาคมีขนาดของเกรนความละเอียดสูงระดับนาโนโดยควบคุมสมมุติฐานด้วยเงื่อนไขเริ่มต้นของปฏิกิริยา แล้วศึกษาสมบัติเชิงกายภาพของอนุภาคที่เตรียมได้ และนำไปใช้ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเพื่อหากลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตและการทำลายเซลล์

จากการสืบค้นงานวิจัยหัวข้อสังกะสีออกไซด์ (ZnO) หรือจากสถิติของบทความตีพิมพ์จากฐานข้อมูลของ Institute of Scientific Information (ISI) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 เป็นต้นมา พบว่ามีจำนวนบทความมากมายและเพิ่มขึ้นทุกปี ปัจจุบันมีบทความตีพิมพ์มากกว่า 63,000 บทความ (ZnO, Retrieved October 10, 2015, from <http://apps.webofknowledge.com>) เห็นได้ชัดเจนว่าวัสดุชนิดนี้จะมีความสำคัญในด้านเศรษฐกิจ และการพัฒนาวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี มากขึ้นอีกในอนาคต การพัฒนากระบวนการผลิตสังกะสีออกไซด์ เพื่อเพิ่มคุณภาพ และลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาถึง เทคนิคการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ที่กล่าวถึงในตอนต้น วิธีการส่วนใหญ่ล้วนต้องอาศัย เครื่องมือที่มีราคาแพง บางเทคนิคมีความยุ่งยากซับซ้อนและใช้เวลามาก แต่หนึ่งในเทคนิคการ สังเคราะห์ที่น่าสนใจคือ วิธีโซโนเคมีคัล (sonochemical method) ซึ่งอาศัยพลังงานจากคลื่นอัลตราซาวด์ในการกระตุ้นปฏิกิริยาเคมีของสารละลายให้ฟอร์มผลึก เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย ให้ปริมาณผลผลิตสูงและสามารถนำไปใช้ในระดับอุตสาหกรรม การผลิตได้ จากการทบทวนวรรณกรรมและศึกษาเอกสารงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้อง ทางด้านฟิสิกส์-วัสดุศาสตร์ มีรายงานถึงเทคนิคการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ด้วยวิธีนี้น้อยมาก ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีนี้ในการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ระดับนาโนที่มีสัณฐานจำเพาะและมีสมบัติที่โดดเด่น โดยไม่ต้องอาศัยเครื่องมือราคาแพง ลดเวลาสังเคราะห์และค่าใช้จ่าย ประหยัดพลังงานไฟฟ้า และต้องการเผยให้เห็นจุดเด่นของเทคนิคนี้ให้แพร่หลายยิ่งขึ้น องค์ความรู้พื้นฐานที่ได้มานี้จะสามารถนำไปใช้พัฒนางานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านการแพทย์ รวมทั้งพัฒนาการเกษตรไทยได้อย่างยั่งยืนต่อไป

### 2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

อนุภาคนาโนสังกะสีออกไซด์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางดังที่ได้กล่าวไปแล้วในตอนต้น โดยเฉพาะการนำไปผสม (composite) กับวัสดุอื่น เพื่อดัดแปลงและพัฒนา คุณสมบัติเฉพาะ เพิ่มคุณภาพและหน้าที่การทำงานของวัสดุนั้น ตัวอย่างเช่น การเจือสังกะสีออกไซด์นาโนวิสเกอร์ในวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เพื่อเพิ่มสมบัติเพียโซอิเล็กทริกและสมบัติเชิงกลให้สูงขึ้น (Zhao, Cao, Yuan, Lu, Wang, and Zhang, 2010) และเพิ่มสมบัติการทนแรงอัดของไฟเบอร์กลาสที่ทำจากวัสดุเชิงประกอบของพอลิเมอร์ด้วยการเติมเตตระพอดสังกะสีออกไซด์ (tetrapod ZnO) ลงในเรซิน (resin) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม (Cao et al., 2010) เป็นต้น เมื่อไม่นานนี้สังกะสีออกไซด์ถูกนำไปใช้ในงานวิจัยทางด้านชีววิทยาและการแพทย์สำหรับการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus niger Fusarium sp.* (Snoop, Mahesh, Nampoothiri, Mangalaraja, and Ananthakumar, 2012; Sharma, Rajput, Kaith, Kaur, and Sharma, 2010) เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus Escherichia coli* (Applerot, Perkas, Amarian, Girshevitz, and Gedanken, 2009; Suwanboon, Amorntpitoksuk, Bangrak, Sukolrat, and Muensit, 2010) *Bacillus subtilis Aerobacter aerogenes* (Jain, Bhargava, and Poddar, 2013) *Salmonella typhimurium Klebsiella pneumonia* (Wahab et al., 2012) *Candida albicans* (Phaeachamud, Mahadlek, Aroonrerk, Choopan, and Charoenteeraboon, 2012) และไบโอฟิล์ม *Streptococcus mutans* (Eshed, Lellouche, Matalon, Gedanken, and Banin, 2012) ซึ่งเป็นแบคทีเรียก่อโรคในช่องปาก สำหรับการอธิบายกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่สรุปว่าเกิดจากการเหนี่ยวนำให้เกิดอนุมูลอิสระหรือ reactive-oxygen species (ROS)

(Applerot, Perkas, Amarian, Girshevit, and Gedanken, 2009; Leung et al., 2012) ขึ้นที่ผิวของอนุภาคสังกะสีออกไซด์ ซึ่งมักเกิดขึ้นร่วมกับกลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง (photocatalysis) (AbdElhady, 2012) ก่อให้เกิดไอออนอิสระ  $\text{OH}^-$ ,  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{HO}_2^-$  และ  $\text{H}_2\text{O}_2$  หลุดจากผิวของอนุภาคสังกะสีออกไซด์ ไอออนอิสระเหล่านี้จะแทรกซึมเข้าสู่เยื่อผนังเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปทำลายเซลล์ภายใน ทำให้เชื้อจุลินทรีย์หยุดการเจริญเติบโตและตายในที่สุด นอกจากนี้ยังขึ้นกับเงื่อนไขของขนาดอนุภาคและความเข้มข้นสารละลายสังกะสีออกไซด์อีกด้วย (Sharma, Rajput, Kaith, Kaur, and Sharma, 2010) ดังนั้นงานวิจัยแต่ละแบบจำเป็นต้องเลือกใช้สังกะสีออกไซด์ที่มีรูปร่างจำเพาะไปประยุกต์ใช้งานเพื่อความเหมาะสม สำหรับงานวิจัยที่ใช้คลื่นอัลตราซาวด์ในการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขของบรรยากาศมักใช้ความถี่ในช่วง 20-40 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยกำลังขั้วระหว่าง 50-1,500 วัตต์ โดยสำนักงานวิทยาศาสตร์แห่งชาติได้ขึ้นกับชนิดสารตั้งต้น ค่าความเข้มข้นและค่า pH ของสารผสมธรรมชาติของการเติมสารลดแรงตึงผิวและสารเพิ่มการยึดเกาะ และเงื่อนไขการให้พลังงานคลื่นอัลตราซาวด์ ตัวอย่างงานวิจัยของ Zhang, Zhao, Tao, Zhao, และ Zhang (2005) ใช้เทคนิคนี้สังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ผลึกรูปแท่งโครงสร้างระดับนาโน (ZnO nanorods) และอนุภาคสังกะสีออกไซด์ผลึกรูปร่างแบบไตรโกนอล (trigonal-shaped ZnO) จากการผสมซิงก์อะซีเตตไดไฮเดรต ( $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) และกรดสเตียริก (stearic acid) แล้วเติมลงในน้ำมันพาราฟิน ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขของบรรยากาศที่อุณหภูมิ 280-300 องศาเซลเซียส Mazloumi และคณะ (2009) สามารถสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์โครงสร้างระดับนาโนที่มีลักษณะคล้ายกะหล่ำดอก (cauliflower like ZnO) หลังจากการใช้คลื่นอัลตราซาวด์กับสารผสมระหว่างสารตั้งต้นของซิงก์อะซีเตตไดไฮเดรตและไตรเอทานอลามีน (triethanolamine, TEA) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เพิ่มความเข้มข้นของการเปล่งแสงสีเขียวของผลผลิตได้ แต่ในกรณีของ Wahab, Ansari, Kim, Seo, และ Shin (2007) เลือกใช้สารตั้งต้นจากซิงก์อะซีเตตไดไฮเดรตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการสังเคราะห์ผลึกเชิงเดี่ยวของสังกะสีออกไซด์ผลึกรูปแท่งโครงสร้างระดับนาโน นอกจากนี้ Xiao, Huang, Zhang, Xiao, และ Tan (2008) ได้เลือกใช้สารตั้งต้นจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารประกอบซิงก์ ในการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์รูปแท่งและแผ่นแบนที่มีโครงสร้างระดับนาโน และพบว่าค่า pH ที่ปรับโดย NaOH มีผลต่อสัณฐานของผลึก Yadav, Mishra, และ Pandey (2008) สังเคราะห์สังกะสีออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยการเติมสารเพิ่มการยึดเกาะเอทิลีนไดเอมีน (ethylenediamine, EDA) ในสารผสมของซิงก์ไนเตรตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ Hu, Zhu, และ Wang (2004) สังเคราะห์สังกะสีออกไซด์แบบแท่งปลายเชื่อมติดกันด้วยวิธีโซโนเคมีคัล ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-120 นาที โดยใช้สารตั้งต้นของซิงก์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ( $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) และเฮกซะเมทิลีนเตตระมีน ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ ) จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้สารตั้งต้นแบบเดียวกัน สังเคราะห์ได้สังกะสีออกไซด์ที่มีความเป็นผลึกสูงและมีโครงสร้างระดับนาโน ในลักษณะรูปแท่ง (nanorods) รูปถ้วย (nanocups) รูป

แผ่นดิสก์ (nanodisks) รูปดอกไม้ (nanoflowers) รูปทรงกลม (nanospheres) และออก  
ตระกูลอีตรัล (Jung et al., 2008; Pholnak, Sirisathitkul, and Harding, 2011; Pholnak,  
Sirisathitkul, Harding, and Suwanboon, 2011) ด้วยความหลากหลายของรูปร่างอนุภาคนา  
โนสังกะสีออกไซด์เหล่านี้ การนำไปใช้จึงต้องเลือกใช้กับงานให้เหมาะสมด้วยกัน หาก  
เป็นงานที่เน้นสมบัติทางแสงควรเลือกใช้ผลึกที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (1  
มิติ) หรืออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (2-3 มิติ) ที่มีค่าสูง (high aspect ratio) (สุเมธา  
สุวรรณบุรณ, 2555) ซึ่งได้แก่ผลึกรูปทรงแบบแท่งนาโนและท่อนาโน (nanorods and  
nanotubes) และแผ่นแบนนาโน (nanosheets, nanodisks, and nanoplates) เป็นต้น  
รวมทั้งจะต้องมีสมบัติการดูดกลืนรังสี UV ถึงแสงย่านการมองเห็นที่ดีอีกด้วย (Talebian,  
Amininezhad, and Doudi, 2013; Kim and An, 2012) หากกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ  
แบคทีเรียต้องอาศัยกลไกการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงแล้ว (photoactivity) ลักษณะของสังกะสี  
ออกไซด์ที่สังเคราะห์จะต้องมี aspect ratio สูง ด้วยวิธีการสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นอัลตรา  
ซาวด์ที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม จึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะเตรียมอนุภาคระดับนาโนที่  
มีค่า aspect ratio สูง อีกทั้งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำไปใช้เป็นสารออกฤทธิ์ยับยั้ง  
การเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้