# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนักวิจัยทั่วโลกได้หันมาให้ความสนใจกับการพัฒนาทางด้านนาโนเทคโนโลยีกันอย่างจริงจัง โดยนักวิจัยเหล่านี้มุ่งเน้นการสร้างหรือการสังเคราะห์วัสดุที่มีขนาดเล็กในช่วง 1-100 นาโนเมตร รวมถึงการออกแบบหรือจัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการส่งผลให้สมบัติและพฤติกรรมต่างๆ เช่น สมบัติทางกล สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแสง และสมบัติแม่เหล็กแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากวัสดุที่มีขนาดเล็กที่อยู่ในช่วงนาโนเมตรนั้นจะมีสัดส่วนของอะตอมที่ผิวต่ออะตอมภายในโครงสร้างมากกว่าปกติ

ในช่วงระยะเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมาวัสดุกึ่งตัวนำโลหะออกไซด์ที่มีโครงสร้างในระดับนาโนเมตรชนิด 1 มิติ ที่มีลักษณะทางสัณฐานที่แตกต่างกัน เช่น nanorod, nanowire, nanosheet และอื่นๆ กำลังเป็นที่สนใจศึกษาอย่างกว้างขวางทั้งทางด้านนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี เนื่องจากความน่าสนใจหลายประการทั้งเพื่อความเข้าใจแนวคิดทางกายภาพเบื้องต้น การมีสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีที่แปลกใหม่ รวมถึงศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางในอนาคต เช่น สามารถนำไปใช้เป็นไดโอดเปล่งแสงและเลเซอร์ไดโอด ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโฟโตคะตะลิส ใช้เป็นตัวเติม (filler) ในยางธรรมชาติ และใช้เป็นตัวตรวจจับก๊าซพิษและก๊าซอันตรายได้ นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังสามารถใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วาริสเตอร์และทรานสดิวเซอร์ เป็นต้น

เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีช่องว่างพลังงานที่กว้างและมีสมบัติด้านการเปล่งแสงที่ดี ดังนั้นจึงมีผู้สนใจเตรียมอนุภาคซิงค์ออกไซด์ชนิด 1 มิติ ด้วยวิธีต่างๆ เช่น solvothermal, hydrothermal, self-assembly และการใช้ template เป็นต้น แต่การเตรียมด้วยวิธีดังกล่าวยังต้องอาศัยการลงทุนที่สูงเมื่อเทียบกับเทคนิคการตกตะกอนแบบธรรมดา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการเตรียมอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างแบบ 1 มิติ โดยใช้ cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) และ trioctylamine (TOA) เป็น capping agent เนื่องจากสารดังกล่าวยังมีการศึกษาวิจัยกันไม่มากนักโดยเฉพาะ TOA ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการใช้เป็น capping agent สำหรับเตรียมอนุภาค ZnO ด้วยวิธีการตกตะกอน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างต่อสมบัติการดูดกลืนแสง ช่องว่างพลังงาน และการเปล่งแสงของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในระดับนาโนเมตรที่เตรียมจากการตกตะกอน โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่จะทำให้ได้รูปร่างและขนาดอนุภาคที่เหมาะสมเพื่อทำให้ได้สมบัติการเปล่งแสงที่ดีที่สุดและมีช่องว่างพลังงานที่กว้าง การศึกษาต่างๆ เหล่านี้ล้วนเป็นสิ่งจำเป็นต่อการสร้างความเข้าใจ การสร้างองค์ความรู้ในการพัฒนาวัสดุนาโนในระบบออกไซด์ของโลหะให้เหมาะสมกับการใช้งานต่อไปในอนาคต

**1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทเอ็น (n-type semiconductor) ที่มีขนาดช่องว่างพลังงาน (band gap) กว้างประมาณ 3.37 eV และมีพลังงานยึดเหนี่ยวของเอกซิตอน (exciton binding energy) สูงประมาณ 60 meV ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น ZnO จึงเป็นวัสดุกึ่งตัวนำอีกชนิดหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านยูวีเลเซอร์ (UV laser) และอุปกรณ์ออฟโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronic device) ในช่วงความยาวคลื่นสั้นได้ (Dong L, et al. (2005)) นอกจากนี้ ZnO ยังสามารถใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (photocatalyst) ได้อีกด้วย (Xie J, et al. (2011)) โดยทั่วไปสมบัติต่างๆ ของ ZnO ที่กล่าวมาขึ้นกับรูปร่าง ขนาดผลึกและขนาดอนุภาคเป็นอย่างมาก

การสังเคราะห์อนุภาคนาโน ZnO ด้วยเทคนิคการตกตะกอนนั้นสามารถควบคุมลักษณะทางสัณฐาน (morphology) และขนาดอนุภาค โดยการควบคุมตัวแปรต่างๆ เช่น ตัวทำละลาย ชนิดของเกลือโลหะซิงค์ ตัวตกตะกอนและสารแคป (capping agent) เป็นต้น การควบคุมลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO เพื่อให้เกิดรูปร่างที่แตกต่างกันนั้นซึ่งอนุภาคดังกล่าวต้องไม่เกิดการรวมกลุ่มกัน (agglomeration) และมีการกระจายตัวของอนุภาคในช่วงแคบ (narrow size distribution) สามารถควบคุมได้ด้วยการเติมสารแคปในระบบที่ศึกษา เช่น พอลีไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone, PVP) (Suwanboon S, (2008)) พอลีออล (polyol) (Bitenz M, et al. (2009)) มอนอเอทานอล เอมีน (monoethanolamine, MEA) ไดเอทานอลเอมีน (diethanolamine, DEA) ไตรเอทานอลเอมีน (triethanolamine, TEA) (Thongsuriwong K, et al. (2010)) และซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) (Suwanboon S, et al. (2010)) ซึ่งในบรรดาสารแคปทั้งหมด CTAB เป็นสารแคปชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจาก CTAB สามารถละลายได้ง่ายและสามารถดูดซับบนผิวของอนุภาค ZnO ได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งโดยทั่วๆ ไป CTAB จะแสดงบทบาทที่สำคัญๆ 2 ประการ (Tang H, et al. (2008), Xu J, et al. (2008)) กล่าวคือ ประการแรก CTAB ทำหน้าที่ควบคุมลักษณะทางสัณฐานของผลึกนาโน ZnO โดยการควบคุมจลนพลศาสตร์ของการเกิดผลึก ซึ่งพบว่าในสภาวะที่มีการเติม CTAB ในระบบโมเลกุลของ CTAB จะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณหน้าผลึกของ ZnO ตามหลักการ dynamic solvation ซึ่งอัตราการแลกเปลี่ยนบนหน้าผลึกที่ต่างกันจะแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อ CTAB เกิดการดูดซับบนหน้าใดๆ ของผลึก ZnO จะทำให้พลังงานที่หน้าผลึกนั้นลดลงและอัตราการโตของผลึกในหน้าที่ถูกดูดซับด้วย CTAB ก็ลดลงเช่นกัน และประการที่สอง เมื่อ CTAB ละลายในน้ำ CTAB จะฟอร์มไมเซลล์ โดยเมื่อความเข้มข้นของ CTAB มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (critical micelle concentration, cmc) เล็กน้อย ไมเซลล์ที่เกิดขึ้นมีรูปร่างเป็นทรงกลมและเมื่อความเข้มข้นของ CTAB ยังคงเพิ่มขึ้นไมเซลล์จะเกิดการโตไปทิศทางใดทิศทางหนึ่งทำให้รูปร่างไมเซลล์เปลี่ยนเป็นทรงกระบอกยาว

Singla และ คณะ (Singla ML, et al. (2009)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB ต่อลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO และสมบัติการเปล่งแสงของ ZnO เมื่อเตรียมโดยวิธีตกตะกอนจากสารตั้งต้นซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต ($Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$) ในตัวทำละลายไอโซโพรพานอล (isopropanol) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยผสมสารละลายที่อุณหภูมิ 0 °C และคนสารละลายผสมเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิเป็น 50 °C และคนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากระบบที่เติม CTAB มีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากระบบที่ปราศจาก CTAB นอกจากนี้เมื่อศึกษาการดูดกลืนแสงพบว่าอนุภาค ZnO ซึ่งเตรียมจากระบบที่ปราศจาก CTAB (ขนาดอนุภาค 4.2 นาโนเมตร) แสดงขอบการดูดกลืน (absorption edge) ที่ความยาวคลื่นประมาณ 335 นาโนเมตร ในขณะที่อนุภาค ZnO ซึ่งเตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB (ขนาดอนุภาค 2.4 นาโนเมตร) แสดงขอบการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นประมาณ 309 นาโนเมตร และเมื่อทดสอบการเปล่งแสง (photoluminescence) พบว่าอนุภาค ZnO แสดงพีคการเปล่งแสงโดยมีสเปกตรัมการเปล่งแสงที่กว้างในช่วงวิสิเบิลและแสดงความยาวคลื่นที่ศูนย์กลางพีคประมาณ 542 นาโนเมตร โดยตำแน่งดังกล่าวเป็นตำแหน่งการเปล่งแสงสีเขียว นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB มีความเข้มของการเปล่งแสงสีเขียวน้อยกว่า นั่นคืออนุภาค ZnO ที่เตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB มีปริมาณตำหนิ (defect) ภายในโครงสร้างผลึกของ ZnO น้อยกว่า

Usui (Usui H, (2009)) ศึกษาผลของ CTAB ต่อสมบัติทางโรงสร้างและสมบัติทางแสงของอนุภาค ZnO เมื่อใช้ซิงค์ซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($ZnSO_4.7H_2O$) เป็นสารตั้งต้น ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและสารละลาย NaOH เป็นตัวตกตะกอน โดยผู้วิจัยทำการเตรียมอนุภาค ZnO โดยเริ่มจากการคนสารละลายผสมที่อุณหภูมิ 5 °C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นคนสารละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที และที่อุณหภูมิ 85 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากระบบที่ปราศจาก CTAB มีรูปร่างแบบแท่ง (rod) ที่มีความยาว 4,883 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 313 นาโนเมตร ในขณะที่อนุภาค ZnO ซึ่งเตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB แสดงรูปร่างแบบแท่งเช่นกันแต่แท่งนาโนดังกล่าวมีขนาดเล็กลงโดยมีความยาวของแท่งประมาณ 720 นาโนเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 124 นาโนเมตร เนื่องจาก $CTA^+$ จะดูดซับกับ ionized oxygen ($O^-$) บนผิวหน้าอนุภาค ZnO ด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic force) ทำให้การโตของอนุภาค ZnO ถูกยับยั้ง และเมื่อทดสอบการเปล่งแสงพบว่าอนุภาคทั้งหมดแสดงพีคการเปล่งแสงในย่านยูวีที่ความยาวคลื่นประมาณ 387 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากการทรานสิชันบริเวณใกล้ขอบการดูดกลืนพลังงาน (near band edge transition, NBE) และพีคการเปล่งแสงสีเหลืองในย่านวิสิเบิล ซึ่งพีคดังกล่าวเกิดจากการซ้อนทับกันของพีคการเปล่งแสงสีเขียวและสีส้มซึ่งเกิดจากตำหนิภายในโครงสร้างผลึกของ ZnO

Tang และคณะ (Tang H, et al. (2008)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB ต่อลักษณะทางสัณฐานของ ZnO เมื่อใช้ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($Zn(NO_3)_2.6H_2O$) เป็นสารตั้งต้นและตกตะกอนด้วยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ($NH_4OH$) พบว่าอนุภาค ZnO ซึ่งเตรียมที่อุณหภูมิ 25 °C มีรูปร่างคล้ายแผ่น (sheet) และเมื่ออุณหภูมิการเตรียมเพิ่มขึ้นเป็น 50 °C อนุภาคที่เกิดขึ้นมีรูปร่างแบบเฮกซะโกนัล โดยอนุภาคที่เตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB จะมีความเป็นผลึกลดลงหรือมีขนาดผลึกเล็กลง

Xu และ คณะ (Xu J, et al. (2008)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB ต่อลักษณะทางสัณฐานของ ZnO ด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มัลเมื่อใช้โลหะซิงค์เป็นสารตั้งต้นและใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย หลังจากผสมโลหะซิงค์และ CTAB ในน้ำแล้วจึงให้ความร้อนที่ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำให้แห้งภายใต้ระบบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้อนุภาค ZnO รูปร่างเป็นแท่งคล้ายดาบ (sword-like ZnO nanorod) โดยแท่งนาโนมีความยาวประมาณ 1 ไมโครเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40-80 นาโนเมตร และแท่งดังกล่าวจะมีขนาดที่สม่ำเสมอขึ้นในระบบที่มีการเติม CTAB

Goharshadi และ คณะ (Goharshadi EK, et al. (2008)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB ต่อลักษณะทางสัณฐานของ ZnO ด้วยการใช้ไมโครเวฟเมื่อใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้นและตกตะกอนด้วยสารละลาย NaOH ภายใต้การใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับ 1-ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethyl sulfonyl) imide พบว่าเมื่อเวลาของการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นขนาดอนุภาคที่มีรูปร่างแบบเฮกซะโกนัลจะมีขนาดโตขึ้นและอนุภาคที่เตรียมจากระบบที่มีการเติม CTAB จะเกิดการเกาะกลุ่ม (aggregation) กันน้อยลง

He และ คณะ (He C, et al. (2008)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB โดยใช้โลหะซิงค์เป็นสารตั้งต้นและใช้น้ำเป็นตัวทำละลายโดยใช้ CTAB ที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าและสูงกว่า cmc ($9.8x10^{-4}$ M) พบว่า ZnO ที่เกิดขึ้นมีรูปร่างแบบ spindle หลังจากทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 วัน และขนาดของอนุภาคจะโตขึ้นเมื่อเวลาการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นและโครงสร้าง spindle จะเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อมีการเติม CTAB ที่มีความเข้มข้นสูงกว่า cmc เมื่อทดสอบการเปล่งแสง พบว่าอนุภาค ZnO แสดงการเปล่งแสงใน 2 ช่วง คือ การเปล่งแสงในช่วงยูวีที่ความยาวคลื่นประมาณ 365 นาโนเมตรซึ่งเกิดจากการทรานสิชันของเอกซิตอนจากแถบการนำไปยังแถบวาเลนซ์ และการเปล่งแสงสีเขียวในช่วงวิสิเบิลที่ความยาวคลื่นประมาณ 540 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากตำหนิภายในโครงสร้างของ ZnO เช่น ช่องว่างออกซิเจน เป็นต้น และ Wang และ คณะ (Wang Y, et al. (2002)) ศึกษาอิทธิพลของ CTAB โดยใช้ซิงค์คลอ-ไรด์ ($ZnCl_2$) เป็นสารตั้งต้น น้ำเป็นตัวทำละลายและตกตะกอนด้วยสารละลาย $NH_4OH$ พบว่าอนุภาคที่เกิดขึ้นมีรูปร่างแบบไม่สม่ำเสมอ (irregular shape) โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 54.3 นาโนเมตร

**1.3 วัตถุประสงค์**

1) เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการเกิดอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ชนิด 1 มิติ คือ ชนิดของสารตั้งต้นและตัวตกตะกอน ความเข้มข้นของตัวตกตะกอน สารแคป (CTAB และ TOA) และ ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา เป็นต้น เมื่อทำการเตรียมอนุภาคซิงค์-ออกไซด์ด้วยเทคนิคการตกตะกอน

2) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงโครงสร้างของตัวอย่างที่เตรียมได้

3) เพื่อศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของตัวอย่างที่เตรียมได้

**1.4 ระเบียบวิธีวิจัย**

งานวิจัยนี้จะทำการเตรียมอนุภาคนาโนของซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 70 °C โดยจะทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้ที่อาจจะมีผลต่อการเกิดเป็นรูปร่างที่แตกต่างกันของอนุภาคที่เตรียมได้

**1) ศึกษาผลของอัตราส่วนต่อโมลระหว่างตัวตกตะกอนต่อเกลือโลหะซิงค์ที่ใช้**

เนื่องจากการใช้ตัวตกตะกอนและเกลือโลหะของซิงค์ที่แตกต่างกันและความเข้มข้นต่างกันอาจจะส่งผลให้อนุภาคที่เตรียมได้มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงทำการศึกษาอัตราส่วนต่อโมลระหว่างตัวตกตะกอนต่อเกลือโลหะซิงค์ดังนี้

1.1 อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.2 อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.3 อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.4 อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.5 อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.6 อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.7 อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.8 อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.9 อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

**2) ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเผาแคลไซน์**

เนื่องจากอนุภาคที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคนี้จะมีสารปนเปื้อนเหลืออยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเผาไล่สารอินทรีย์และสารปนเปื้อนอื่นๆ เพื่อทำให้อนุภาคหรือผงที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์

**3) ศึกษาผลของ CTAB ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์**

เนื่องจาก CTAB เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก โดยเฉพาะด้วยเทคนิคการตกตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของ CTAB ที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์-ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1) โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต่อโมลระหว่าง CTAB ต่อเกลือโลหะของซิงค์ที่ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

**4) ศึกษาผลของ TOA ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์**

เนื่องจาก TOA เป็นสารประกอบเอมีนที่ยังไม่พบข้อมูลการใช้เป็นสารแคป สำหรับการเตรียมอนุภาคซิงค์ออกไซด์ โดยเฉพาะด้วยเทคนิคการตกตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของ TOA ที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1) โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต่อโมลระหว่าง TOA ต่อเกลือโลหะของซิงค์ที่ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

**5) ศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา**

เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้สำหรับทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์นั้นมีผลต่อขนาดและอาจจะมีผลต่อการเกิดรูปร่างที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1), 3) และ 4) แล้ว โดยจะทำการศึกษาระยะเวลาที่ 1 และ 3 ชั่วโมง

**6) ศึกษาลักษณะโครงสร้างและเฟส**

เนื่องจากโครงสร้างและเฟสที่เกิดขึ้นของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีผลต่อสมบัติที่ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของโครงสร้างและเฟสที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง XRD

**7) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค**

เนื่องจากขนาดและรูปร่างหรือลักษณะทางสัณฐานของอนุภาคที่เตรียมได้มีผลโดยตรงต่อสมบัติที่ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานด้วยเครื่อง SEM และ TEM

**8) ศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง**

เนื่องจากอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีสมบัติในการส่องผ่านแสงที่ดีตัวหนึ่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 800 นาโนเมตร พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างอนุภาคต่อการดูดกลืนแสง ช่องว่างพลังงานและการเปล่งแสง

**9) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานต่อการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง**

ขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างของอนุภาคต่อการดูดกลืนแสง ช่องว่างพลังงานและการเปล่งแสงจากข้อมูลที่ได้

| | ระยะเวลา | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2552 | | | | | | 2553 | | | | | |
| | เดือนที่ 1-2 | เดือนที่ 3-4 | เดือนที่ 5-6 | เดือนที่ 7-8 | เดือนที่ 9-10 | เดือนที่ 11-12 | เดือนที่ 13-14 | เดือนที่ 15-16 | เดือนที่ 17-18 | เดือนที่ 19-20 | เดือนที่ 21-22 | เดือนที่ 23-24 |
| 1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 2. ศึกษาผลของอัตราส่วนต่อโมลระหว่างตัว-ตกตะกอนต่อเกลือโลหะซิงค์ต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| 3. ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเผาแคลไซน์ | | | ✓ | ✓ | | | | | | | | |
| 4. ศึกษาผลของ CTAB ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | |
| 5. ศึกษาผลของ TOA ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ | | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | |
| 6. ศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | |
| 7. ศึกษาลักษณะโครงสร้างและเฟสด้วยเครื่อง XRD | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 8. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM และ TEM | | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 9. ศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| 10. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานต่อการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง | | | | | | | | | | ✓ | ✓ | |
| 11. สรุปผลการทดลองและเขียนรายงาน | | | | | | | | | | | | ✓ |

**1.5 ขอบเขตของการวิจัย**

**1) ศึกษาผลของอัตราส่วนต่อโมลระหว่างตัวตกตะกอนต่อเกลือโลหะซิงค์ที่ใช้**

เนื่องจากการใช้ตัวตกตะกอนและเกลือโลหะของซิงค์ที่แตกต่างกันและความเข้มข้นต่างกันอาจจะส่งผลให้อนุภาคที่เตรียมได้มีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงทำการศึกษาอัตราส่วนต่อโมลระหว่างตัวตกตะกอนต่อเกลือโลหะซิงค์ดังนี้

1.1) อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.2) อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.3) อัตราส่วนต่อโมลของ $NaOH/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.4) อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.5) อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.6) อัตราส่วนต่อโมลของ $NH_4OH/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.7) อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.8) อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/Zn(NO_3)_2.6H_2O$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

1.9) อัตราส่วนต่อโมลของ $HMTA/ZnCl_2$ ที่ 2:1, 4:1 และ 8:1 ตามลำดับ

**2) ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการเผาแคลไซน์**

เนื่องจากอนุภาคที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคนี้จะมีสารปนเปื้อนเหลืออยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเผาไล่สารอินทรีย์และสารปนเปื้อนอื่นๆ เพื่อทำให้อนุภาคหรือผงที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์

**3) ศึกษาผลของ CTAB ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์**

เนื่องจาก CTAB เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ยังมีการศึกษาไม่มากนัก โดยเฉพาะด้วยเทคนิคการตกตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของ CTAB ที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์-ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1 โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต่อโมลระหว่าง CTAB ต่อเกลือโลหะของซิงค์ที่ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

**4) ศึกษาผลของ TOA ต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์**

เนื่องจาก TOA เป็นสารประกอบเอมีนที่ยังไม่พบข้อมูลการใช้เป็นสารแคป สำหรับการเตรียมอนุภาคซิงค์ออกไซด์ โดยเฉพาะด้วยเทคนิคการตกตะกอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของ TOA ที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1 โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนต่อโมลระหว่าง TOA ต่อเกลือโลหะของซิงค์ที่ 0, 0.5 และ 1 ตามลำดับ

**5) ศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา**

เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้สำหรับทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์นั้นมีผลต่อขนาดและอาจจะมีผลต่อการเกิดรูปร่างที่สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อขนาดและรูปร่างของอนุภาคซิงค์ออกไซด์จากเงื่อนไขที่เหมาะสมบางเงื่อนไขที่ทำการศึกษาในข้อที่ 1, 3 และ 4 แล้ว โดยจะทำการศึกษาระยะเวลาที่ 1 และ 3 ชั่วโมง

**6) ศึกษาลักษณะโครงสร้างและเฟส**

เนื่องจากโครงสร้างและเฟสที่เกิดขึ้นของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีผลต่อสมบัติที่ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาลักษณะของโครงสร้างและเฟสที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง XRD

**7) ศึกษาลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค**

เนื่องจากขนาดและรูปร่างหรือลักษณะทางสัณฐานของอนุภาคที่เตรียมได้มีผลโดยตรงต่อสมบัติที่ศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานด้วยเครื่อง SEM และ TEM

**8) ศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง**

เนื่องจากอนุภาคซิงค์ออกไซด์มีสมบัติในการส่องผ่านแสงที่ดีตัวหนึ่ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสงของอนุภาคซิงค์ออกไซด์ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 800 นาโนเมตร พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างอนุภาคต่อการดูดกลืนแสง ช่องว่างพลังงานและการเปล่งแสง

**9) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางสัณฐานต่อการดูดกลืนแสงและการเปล่งแสง**

ขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและรูปร่างของอนุภาคต่อการดูดกลืนแสง ช่องว่างพลังงานและการเปล่งแสงจากข้อมูลที่ได้