

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ก่อกำเนิดจากแนวความคิดของนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันที่มีชื่อว่า ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ไฟน์แมน (Richard Phillips Feynman) ซึ่งได้กล่าวไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1959 ระหว่างการบรรยายทางวิชาการ ณ สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย ในหัวข้อเรื่องที่ว่า “There is plenty of room at the bottom” โดยได้บรรยายถึงแนวความคิดความเป็นไปได้ของนาโนเทคโนโลยี ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงอะตอมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ และโอกาสของประโยชน์ที่ได้จากการจัดการในระดับอะตอม ซึ่งการบรรยายในครั้งนั้นถือเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์เริ่มหันมาสนใจและสร้างเครื่องมือในการจัดเรียงอะตอม โดยแนวคิดนี้ทำให้ไฟน์แมนได้รับการยกย่องให้เป็น “บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี” ในเวลาต่อมา [4]

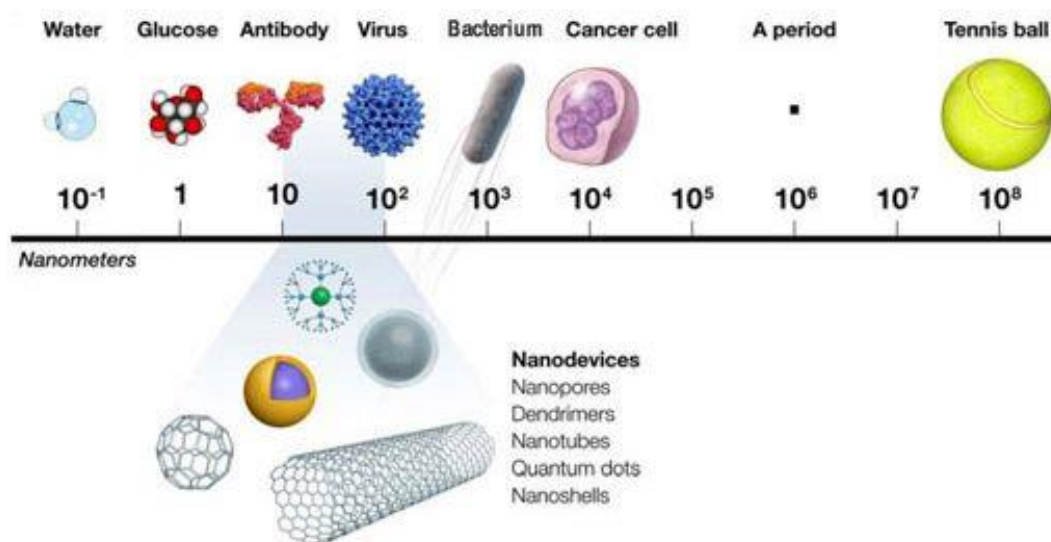
ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 ศาสตราจารย์โนริโอะ ทานิกุชิ (Norio Taniguchi) แห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์โตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ได้ริเริ่มใช้คำว่า นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) ขึ้นเพื่อที่จะบรรยายว่า เป็นเทคโนโลยีการผลิตที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงเป็นพิเศษและก้าวข้ามพรมแดนของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน [5] และในปี ค.ศ. 1981 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และ ไฮน์ริช โรห์เธอร์ (Heinrich Rohrer) นักวิจัยในห้องปฏิบัติการของบริษัทไอบีเอ็ม ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์ (Scanning Tunneling Microscope; STM) เป็นครั้งแรก [6] ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะเห็นภาพการจัดเรียงอะตอม หรือโมเลกุลขนาดเล็กได้เป็นครั้งแรก จากผลงานการประดิษฐ์เครื่องมือนี้ทำให้ทั้งสองได้รับรางวัลโนเบล ในปี ค.ศ. 1986 และทำให้คนเริ่มหันมาสนใจและมีการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.1 ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ไฟน์แมน (ค.ศ. 1918-1988) บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี [4]

นาโนศาสตร์ (Nanoscience) คือ วิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุ อินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุล ที่มีโครงสร้างขนาดเล็กประมาณ 1-100 นาโนเมตร โดย 1 นาโนเมตรมีขนาดเท่ากับ 1 ใน 1 พันล้านเมตรหรือยาวเท่ากับอะตอมของไฮโดรเจนต่อเรียงกัน 10 อะตอม โดยคุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (bulk materials) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ล้วนแล้วแต่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว [7]

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้าง การวิเคราะห์ การสังเคราะห์วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากๆ ในระดับนาโนเมตร รวมถึงการออกแบบหรือการประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อใช้สร้างหรือวิเคราะห์วัสดุในระดับที่เล็กมากๆ อาทิเช่น การเรียงอะตอมและโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ส่งผลให้โครงสร้างของวัสดุหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติดีขึ้น อาทิคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ซึ่งจะเกิดประโยชน์และตรงต่อความต้องการของผู้นำไปใช้งาน [8]



รูปที่ 2.2 ขนาดของนาโนเทคโนโลยี [9]

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงช่วงของขนาดของนาโนเทคโนโลยีที่มีขนาดอยู่ในช่วง 10-100 นาโนเมตรที่เมื่อเทียบกับขนาดของลูกบอลเทนนิสที่มีขนาด 10^8 นาโนเมตรแล้วแสดงให้เห็นเลยว่า วัสดุหรืออนุภาคที่อยู่ในช่วงนาโนเมตรมีขนาดเล็กมากโดยที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้

ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ความรู้ในด้านวิทยาศาสตร์กับนาโนเทคโนโลยีในงานด้านต่างๆ มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น ในงานทางด้านวัสดุศาสตร์ (Nanomaterial) เทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) และเทคโนโลยีทางการแพทย์ (Nanomedicine) เป็นต้น

2.1.1 ประเภทของนาโนเทคโนโลยี

2.1.1.1 วัสดุนาโน (Nanomaterial)

หมายถึง วัสดุที่มีมิติภายนอกหรือโครงสร้างภายใน หรือโครงสร้างที่พื้นผิวอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยวัสดุนาโนสามารถแบ่งออกได้สองกลุ่ม ตามแหล่งกำเนิด คือ วัสดุนาโนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นวัสดุนาโนที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ ซึ่งอาจพบได้หลังเกิดไฟฟ้าหรือภูเขาไฟระเบิด และวัสดุนาโนที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์เป็นวัสดุที่เกิดจากการสังเคราะห์ขึ้นมีคุณสมบัติหรือองค์ประกอบที่จำเพาะ [10] ตัวอย่างของวัสดุนาโนที่สำคัญ ได้แก่

ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นทั้งสารกึ่งตัวนำและเซรามิก นำไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง เพื่อให้บริเวณที่ใช้มีความสว่างขึ้นและอยู่ทน เนื่องจากสารนี้มีลักษณะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (photocatalyst) จึงได้ถูกนำมาใช้ฆ่าเชื้อโรคและทำความสะอาดสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ หรือตัวฟอกอากาศ แต่เมื่ออนุภาคไทเทเนียมมีขนาดเล็กลงจนถึงระดับนาโน ทำให้สัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้นมากและสมบัติสำคัญบางอย่าง เช่น การหักเหแสงนั้นจะเปลี่ยนไป ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาและประโยชน์ต่อการใช้งานมากขึ้น

เงิน (Ag) เป็นโลหะทรานซิชันมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ การนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดีจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิด แต่เมื่อทำให้อนุภาคเงินมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร ทำให้พบว่า อนุภาคเงินในระดับนาโนเมตรสามารถต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่อยู่ตามธรรมชาติได้ โดยจะเข้าไปเกาะที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียไม่สามารถหายใจได้และตายไปในที่สุดด้วยคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้ผลิตตู้เย็น และผลิตภัณฑ์ในการเก็บผัก ผลไม้และอาหารอื่นๆ เนื่องจากสามารถช่วยรักษาความเย็นและช่วยยืดอายุของอาหารได้ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ผสมในน้ำยาบ้วนปากเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียในช่องปาก และใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุทำหน้ากากปิดปาก ปิดจมูก และนอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นส่วนผสมในสีทาบ้านซึ่งจะช่วยป้องกันการเกิดเชื้อราได้อีกด้วย [11] ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มนำอนุภาคเงินในระดับนาโนเมตรไปประยุกต์ในการผลิตผ้ากันน้ำ ในการผสมอนุภาคเงินระดับนาโนลงในเส้นใยผ้ามักจะใช้อัตราส่วน อนุภาคเงินระดับนาโน 1 ส่วนต่อเส้นใย 1 ล้านส่วนเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยระงับกลิ่นเหม็น และคุณสมบัติที่น่าสนใจอีกหนึ่งของอนุภาคเงินระดับนาโน คือ เมื่อขนาดและรูปร่างเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อสมบัติทางแสง ซึ่งมีความจำเพาะสูงทำให้ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ทำตัวรับรู้ทางสีในการตรวจหาโลหะหนักในตัวอย่าง เช่น พรอท ตะกั่ว เป็นต้น

2.1.1.2 นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology)

เป็นการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีในด้านชีวภาพและการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก ทำให้มีการพัฒนาและคิดค้น

เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆขึ้น เพื่อนำมาใช้ช่วยแก้ปัญหาและอำนวยความสะดวกในด้านชีวภาพและการเกษตรของมนุษย์มากยิ่งขึ้น [10]

ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในการเกษตร ได้แก่ การสร้างฟองนาโน (Nano bubbles) เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีที่สามารถผลิตฟองนาโน ที่มีความเสถียรสูงได้เป็นครั้งแรก โดยคณะผู้วิจัยจากสถาบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่น (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST) โดย Nano bubbles คือฟองก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร ซึ่งโดยปกติมักจะเกิดขึ้นอย่างชั่วคราวในระหว่างการผลิต micro bubbles แต่จะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสถานะที่ไม่เหมาะสมและมีเสถียรภาพต่ำ จึงได้มีการพัฒนาและคิดค้นทำให้สามารถผลิตฟองอากาศนาโนที่มีเสถียรภาพสูงได้สำเร็จ มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ แตกตัวได้ยากในน้ำและยังสามารถกักเก็บก๊าซโอโซน (ozone) ไว้ภายในฟองได้นาน ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาไปประยุกต์ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้ได้เป็นระยะเวลานานนอกจากนี้ได้นำเอาฟองนาโนมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ปลา หอย และกุ้ง [12]

2.1.1.3 นาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์ (Nanomedicine)

การนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์เป็นไปอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศยุโรป กลุ่มประเทศเอเชีย เช่น จีน เกาหลี อินเดีย และสิงคโปร์ ความรู้ใหม่ๆเหล่านี้ทำให้เกิดเป็นศาสตร์แขนงใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า “NANOMEDICINE” ซึ่งหมายถึง การนำเอานาโนเทคโนโลยีมาใช้เกี่ยวกับทางด้านสุขภาพไม่ว่าจะเป็นการป้องกัน การคัดกรอง และการรักษาโรคต่างๆ [13] การนำนาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้นั้นได้มีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก

ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้ ได้แก่ พลาสเตอร์นาโน เป็นพลาสเตอร์สำหรับปิดบาดแผลที่เกิดจากการถูกไฟไหม้และบาดแผลเรื้อรังต่างๆ โดยการผสมอนุภาคเงินในระดับนาโน (silver nanoparticle) ที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 150 ชนิด ลงไปเป็นส่วนประกอบของพลาสเตอร์ ซึ่งพบว่า พลาสเตอร์นาโนนี้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาอย่างรวดเร็วเพียง 30 นาทีเท่านั้นนับจากที่ติดพลาสเตอร์นาโนนี้ลงบนบาดแผล อีกทั้งอนุภาคเงินในระดับนาโนที่เคลือบไว้กับพลาสเตอร์ ยังสามารถคงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างต่อเนื่องนานหลายวัน ซึ่งพลาสเตอร์นาโนนี้ได้ถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลที่อเมริกาเหนือเพื่อรักษาผู้ป่วยที่ได้รับบาดแผลจากไฟไหม้อย่างรุนแรงและบาดแผลเรื้อรังที่เสี่ยงสำหรับการติดเชื้อ [14]

2.2 อนุภาคเงินระดับนาโน (Silver nanoparticles)

อนุภาคเงินระดับนาโน มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของสมบัติทางแสงที่มีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไป สมบัติทางแสงก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนเป็นที่สนใจและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้นมากมายที่ได้มีการนำอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) เนื่องจากสมบัติทางแสงเป็นสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ง่ายต่อการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น และวัสดุที่ใช้มีราคาไม่แพง [15]

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีทางกายภาพ (Physical approach) ได้แก่ วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) และวิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) วิธีที่สองจะเป็นวิธีทางเคมี (Chemical approach) ได้แก่ วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) และวิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis) [16]

ในแต่ละวิธีการสังเคราะห์จะได้รูปร่างและขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆอีกด้วย รูปร่างที่พบบ่อย ได้แก่ รูปทรงกลม รูปทรงสี่เหลี่ยม และพีระมิด เป็นต้น [17]

2.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

2.2.1.1 วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการยิงด้วยเลเซอร์ของสารที่เป็นโลหะในสารละลาย คุณลักษณะเฉพาะของรูปแบบอนุภาคโลหะและการยิงที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่กระทบกับโลหะเป้าหมาย ระยะเวลาพัลส์ของเลเซอร์ ระยะเวลาการยิงและผลกระทบจากของเหลวที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิว ฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญที่สุด โดยอนุภาคโลหะที่ออกมาจากเป้าหมายต้องใช้พลังงานต่ำที่สุด ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคนาโนที่พบโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เพิ่มขึ้น นอกจากฟลูเอนซ์ของเลเซอร์แล้วจำนวนภาพเลเซอร์ เช่น เวลาที่ใช้ในระหว่างการกลายเป็นไอเลเซอร์ มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นและสัญญาณวิทยาของอนุภาคโลหะที่ปล่อยออกมาในของเหลว ความเข้มข้นของอนุภาคโลหะภายใต้แสงเลเซอร์คาดว่า จะเพิ่มขึ้น แต่สามารถทำให้อิ่มตัวได้เนื่องจากการดูดกลืนแสงในคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นสูงในอนุภาคโลหะ [18]

จากงานวิจัยของบาวทินิกซุซาและคณะ [19] ได้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนรูปร่างกลมระดับนาโนด้วยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ในอากาศ ในขั้นตอนการสังเคราะห์จะต้องทำการเตรียมแผ่นซิลเวอร์ก่อน โดยนำไปทำความสะอาดด้วยเอทานอลและล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ และจากนั้นนำแผ่นซิลเวอร์ที่เตรียมไว้แล้วยึดให้อยู่กับที่และห่างจากขั้วสเตรทประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เซนติเมตรในการยิงลำแสงเลเซอร์จะยิงทำมุม 60 องศากับแนวระนาบและจะโฟกัสไปที่พื้นผิวของแผ่นซิลเวอร์เพื่อที่จะ

เก็บอนุภาคที่ออกมาไว้บนซับสเตรท แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้คือ Nd:YVO₄ และใช้ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ 532 นาโนเมตร ระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 10 นาที่ ผลที่ได้พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้มีรูปร่างโค้งมนและมีขนาดไม่ถึง 50 นาโนเมตรและมีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากระยะเวลาที่ปล่อยเลเซอร์น้อยเกินไป

จากงานวิจัยของทาเคชิ ชูจิและคณะ [20] ได้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนรูปร่างกลมระดับนาโนด้วยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในการสังเคราะห์จะนำแผ่นซิลเวอร์ใส่ลงในเซลล์ควอตซ์ จากนั้นเติมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน และทำการยิงเลเซอร์เข้าไปที่แผ่นซิลเวอร์ โดยอนุภาคนาโนจะตกลงไปในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้คือ Nd:YAG และใช้ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ 355 นาโนเมตร ระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 10 นาที่ ผลที่ได้พบว่า อนุภาคนาโนรูปร่างกลมระดับนาโนที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร ประสิทธิภาพของการเกิดอนุภาคเพิ่มมากขึ้นซึ่งเทียบจากการยิงด้วยเลเซอร์ในน้ำ

2.2.1.2 วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave)

การสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ง่าย แต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้แต่จากงานวิจัยของเค เจ ศรีราม และคณะ [21] พบว่า ข้อดีของวิธีการสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟคือ สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาค่อนข้างสั้นในการสังเคราะห์ ทำให้ได้สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์ และขนาดอนุภาคที่ได้เฉลี่ยมีขนาด 12 นาโนเมตร

วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยใช้ไมโครเวฟ จะทำโดยใช้แบ่งทำเป็นแผ่นแม่แบบและเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ซึ่งแบ่งที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นแม่แบบ และจะช่วยป้องกันการรวมตัวของอนุภาคนาโนอีกด้วย และจะใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมเป็นตัวรีดิวซ์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาภายใต้การฉายรังสีไมโครเวฟภายในเตาไมโครเวฟที่ใช้ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองน้ำตาลไปเป็นสีเทาดำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เกิดเป็นอนุภาคนาโนในระดับนาโนแล้ว โดยขนาดของอนุภาคนาโนที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมและซิลเวอร์ไนเตรต

จากงานวิจัยของอู๋ซี จ้าวและคณะ [22] ได้กล่าวว่า การสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ง่ายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยจะใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นตัวรีดิวซ์และตัวรักษาเสถียรภาพ เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตจัดเป็นพอลิเมอร์ในธรรมชาติซึ่งมีราคาที่ไม่แพงต่ำและความเป็นพิษน้อย โดยจะเกิดปฏิกิริยาภายใต้การฉายรังสีไมโครเวฟภายในเตาไมโครเวฟ โดยในการสังเคราะห์จะมีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 5 ถึง 11 สารละลายจะมีการเปลี่ยนสีอย่างช้าๆจากใสไม่มีสีไปเป็นสีน้ำตาลอ่อนเนื่องจากการรีดักชันของ Ag⁺ ไปเป็น Ag⁰ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เกิดเป็นอนุภาคนาโนในระดับนาโนแล้ว โดยขนาดของอนุภาคเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 12 นาโนเมตรซึ่งขนาดที่ได้จะ

ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรตและโซเดียมอัลจินต และยังขึ้นอยู่กับค่าพีเอช รวมถึงเวลาในการฉายรังสีไมโครเวฟอีกด้วย

2.2.1.3 วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction)

วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนได้ [23] ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับเกิดรีดักชันของซิลเวอร์ในเตรต โดยการใช้ตัวรีดิวซ์เป็นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และตัวรักษาเสถียรภาพ เป็นไตรโซเดียมซิเตรท ไดไฮเดรท โดยมีปัจจัยในการป้องกันการเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งวิธีนี้มีตัวแปรที่ส่งผลต่อขนาดอนุภาค และการรวมตัวกันของอนุภาคเงินในระดับนาโน หลายตัวแปร เช่น ความเข้มข้นเริ่มต้นของซิลเวอร์ในเตรต ความเข้มข้นของตัวรักษาเสถียรภาพ และปริมาณของตัวรีดิวซ์ [24]

จากงานวิจัยของฮวงจู่ วังและคณะ [25] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี เกิดการรีดักชันของซิลเวอร์ในเตรตในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) โดยมีกลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยขั้นตอนการสังเคราะห์คือ จะแบ่งสารละลายออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่งจะเตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเตรตโดยละลายในน้ำปราศจากไอออน และส่วนที่สองจะเตรียมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) โดยละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) กลูโคส และโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำสารในส่วนที่สองไปให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 60 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำสารละลายที่สังเคราะห์ได้ลงไปทีละหยด หลังจากเติมลงไปหมดแล้วให้ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จะพบว่า ขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโนอยู่ในช่วง 20 ถึง 80 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 420 นาโนเมตร และในงานวิจัยยังพบว่า โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นสารที่ช่วยเพิ่มความคงตัวของคอลลอยด์ของอนุภาคเงินในระดับนาโน และยังช่วยป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเงินในระดับนาโนอีกด้วย

2.2.1.4 วิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยด้วยวิธีเชิงแสงทางเคมี จะอาศัยการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ เช่น หลอดโซเดียม หลอดซินอน และจากรังสียูวี เป็นต้น วิธีการสังเคราะห์เชิงแสงเป็นอีกวิธีที่ง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เชิงแสงได้ โดยขนาดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉายแสง

จากงานวิจัยของสเตฟราน ที่ ดูเบสและวิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์ [26] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีเชิงแสงทางเคมี โดยจะเกิดการรีดักชันของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตภายใต้การฉายรังสียูวี โดยจะใช้โพลีเมทาอะคริลิก (PMA) เป็นตัวรีดิวซ์และตัวรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนซึ่งจะอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิตและอาศัยผลจากความเกาะก่ของ

หมู่ฟังก์ชัน และเมื่อนำไปฉายรังสียูวีได้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลของสีที่เกิดขึ้นจะได้สารละลายสีม่วง ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร และภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจะแสดงให้เห็นขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 10 นาโนเมตร และจากงานวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการฉายรังสีมากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น [27]

2.2.2 อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน (Silver triangular nanoplates)

อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน (AgTNPs) มีรูปแบบของการดูดกลืนแสงเป็นแบบเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่เข้ม (Strong Plasmon Resonance; SPR) และมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างออกไปคือ ประกอบด้วย 3 มุมหรือจุดปลายที่แหลมคม ทำให้คุณสมบัติที่สำคัญของอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน (AgTNPs) คือ คุณสมบัติทางแสง อิเล็กทรอนิกส์ และคุณสมบัติทางเคมี มีความพิเศษขึ้น [28] และอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน (AgTNPs) สามารถนำมาเป็นตัวตรวจวัดเชิงแสงที่ดี ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับสร้างเป็นตัวรับรู้โดยวิธีเปรียบเทียบสี (Colorimetric method) ที่มีความเสถียรและรวดเร็ว [29]

2.2.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน

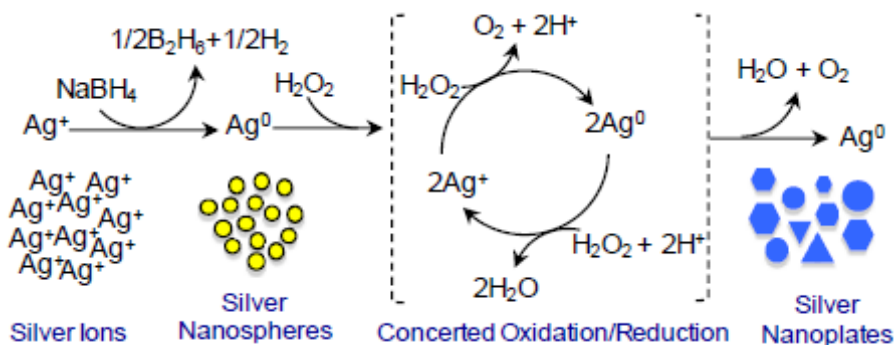
วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโนมีหลากหลายวิธี แต่จะเลือกใช้วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) เป็นส่วนมาก เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่จะทำการสังเคราะห์ได้

1. วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)

เป็นวิธีที่ใช้ทั่วไป และเป็นที่ยอมรับนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อยและสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนเงินได้ ตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ กรดแอสคอร์บิกและเซลล์ูโลส เป็นต้น ตัวรักษาเสถียรภาพที่นิยมใช้ได้แก่ ไตรโซเดียมซิเตรท และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ซึ่งรูปร่างและขนาดที่เปลี่ยนไปของอนุภาคนาโนจะส่งผลทำให้สมบัติทางแสงเปลี่ยนไปด้วย

ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโนด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ทำโดยเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ผสมกับสารละลายโซเดียมซิเตรท พร้อมกับบับกวน จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลงไป แล้วค่อยๆ หยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ลงไป ปฏิกริยาจะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) โดยซิลเวอร์ไนเตรท (Ag^+) จะถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ได้เป็น Ag^0 ในขณะเดียวกัน Ag^0 นี้จะถูกล้อมรอบด้วยไตรโซเดียมซิเตรทซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพไม่ให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคเงินในระดับนาโน [30] ในขั้นตอนนี้จะได้อนุภาคนาเงินรูปร่างทรงกลมในระดับนาโนซึ่งสารละลายที่ได้จะมีสีเหลือง และในขั้นต่อมาอนุภาคนาเงินรูปร่างทรงกลมในระดับนาโนที่

เกิดขึ้นจะค่อยๆถูกกัด (Etching) โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) [31] และเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลง จะได้สารละลายสีน้ำเงินเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) จะพบอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโนปรากฏอยู่



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมในระดับนาโน [28]

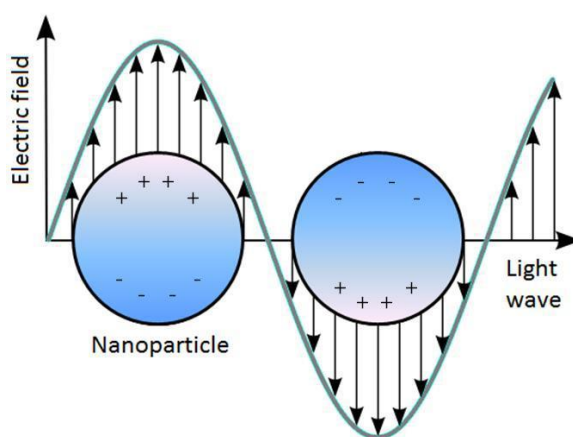
จากรูปที่ 2.3 กล่าวถึงขั้นตอนการเกิดเป็นอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน โดย Ag^+ จะถูกรีดิวซ์โดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) กลายเป็น Ag^0 ซึ่งรูปร่างที่ได้จะเป็นทรงกลม และสีของสารละลายที่ได้จะมีสีเหลือง จากนั้นปฏิกิริยาต่อมาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) จะเข้าไปกัด (Etching) อนุภาคเงินที่มีรูปร่างกลมในระดับนาโน ให้กลายเป็นอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโน โดยสีของสารละลายจะมีสีน้ำเงิน

2. วิธีการฉายแสง (Light irradiation method)

การเตรียมอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนด้วยวิธีการฉายแสง เป็นอีกกระบวนการที่ง่าย สะดวก ประหยัดพลังงาน และสามารถทำปฏิกิริยาได้ในอุณหภูมิห้อง แต่ยังไม่เป็นวิธีที่นิยมมากนัก จากงานวิจัยของฮุยหิง เจียและคณะ [32] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนด้วยวิธีการฉายแสง โดยเตรียมสารละลายผสมของซิลเวอร์ไนเตรทกับสารละลายโซเดียมซิเตรทและทำการปั่นกววน จากนั้นค่อยๆหยดโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไป สารละลายจะเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองทันที หลังจากปั่นกววนได้ 30 วินาที จึงนำสารละลายที่ได้มาฉายแสงโดยจะใช้หลอดโซเดียม (OSRAM NAV-T 70 Watt, Wavelength 589 nm) ในการฉายแสง โดยเวลาในการฉายแสงจะใช้เวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งจะพบว่า เวลาในการฉายแสงที่แตกต่างกัน รูปร่างและขนาดที่ได้ก็แตกต่างกันไปด้วย ในงานวิจัยนี้ได้สรุปผลว่า เวลาในการฉายแสงที่เหมาะสมคือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากรูปร่างสามเหลี่ยมที่ได้มีความเป็นรูปร่างสามเหลี่ยมมากที่สุด และขนาดของอนุภาคที่ได้อยู่ระหว่าง 40 ถึง 100 นาโนเมตร

2.3 เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance)

เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) เป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายถึงสมบัติทางแสงของอนุภาคโลหะระดับนาโน เป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบพื้นผิวของอนุภาคโลหะระดับนาโน แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งจึงเหนี่ยวนำให้เกิดการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งการสั่นของอิเล็กตรอนนี้ทำให้เกิดการแยกระหว่างประจุบวกและประจุลบ การสั่นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นที่จำเพาะ ปรากฏการณ์นี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแถบการดูดกลืนแสงเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ซึ่งสามารถวัดได้ในช่วงความยาวคลื่นยูวีไปจนถึงวิสิเบิลไลต์ โดยความเข้มของการดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่พื้นผิวของโลหะชนิดนั้นๆ ประเภทของวัสดุ ขนาดของอนุภาค และรูปร่างของอนุภาค [33] สำหรับอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนจะมีแถบการดูดกลืนอยู่ที่ 598 นาโนเมตร ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรถูกนำไปใช้เป็นตัวรับรู้ทางแสง



รูปที่ 2.4 การเกิดเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ [34]

จากรูปที่ 2.4 แสดงถึงการเกิดเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยเมื่อแสงตกกระทบที่โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำและจะเกิดการสั่นพ้องกับแสงที่ตกกระทบ ซึ่งปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดอยู่บริเวณเปลือกชั้นนอกของอนุภาคนาโน เพราะแสงจากภายนอกไม่สามารถส่องทะลุผ่านเข้าไปภายในวัสดุได้

สมบัติในการดูดกลืนแสง เป็นสมบัติที่น่าสนใจของอนุภาคโลหะระดับนาโน ตัวอย่างเช่น อนุภาคนาโนของเงิน จะมีสีเหลืองเข้มแทนที่จะเป็นสีเงินวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่ จะมีความถี่เรโซแนนซ์ อยู่ในช่วงใกล้อินฟราเรดซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิด ไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ [35]

2.4 กลูต้าไธโอน

กลูต้าไธโอน (Glutathione, GSH) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ร่างกายสามารถสร้างขึ้นเองได้จากอาหารประเภทโปรตีน ไข่ และนม โดยร่างกายจะเก็บกลูต้าไธโอนที่สร้างขึ้นได้ไว้ที่ตับ ในส่วนของภายนอกเซลล์จะพบกลูต้าไธโอนในปริมาณน้อย เช่น ในเลือดพบ 2-20 มิลลิโมลต่อลิตรเท่านั้น [36] และมีคุณสมบัติเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง มีหน้าที่ปกป้องเนื้อเยื่อของอวัยวะทุกส่วน โดยการต่อต้านอนุมูลอิสระที่สะสมอยู่ตามส่วนต่างๆ โดยใช้หมู่ไฮดรอกซิล (-SH) ในการรีดิวซ์อนุมูลอิสระชนิดต่างๆ และกระตุ้นภูมิคุ้มกันของร่างกาย

อีกทั้ง ยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช สัตว์ เห็ดรา และแบคทีเรีย และอาร์เคียบางชนิด ทำหน้าที่ป้องกันองค์ประกอบสำคัญของเซลล์ที่เกิดจากออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen species) เช่น อนุมูลอิสระหรือเปอร์ออกไซด์ [37]

2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลูต้าไธโอน [36]

2.4.1.1 ชื่อทาง IUPAC

(2S)-2-amino-4-[[[(1R)-1-[(carboxymethyl) carbamoyl]-2-sulfanylethyl] carbamoyl] butanoic acid

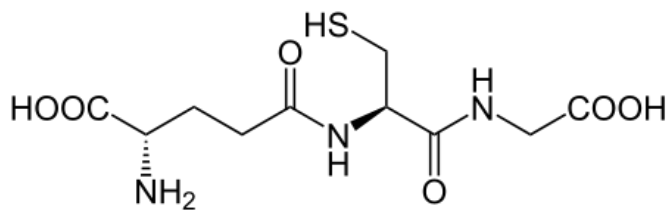
2.4.1.2 ชื่อเรียกอื่น

γ -L-Glutamyl-L-cysteinylglycine (2S)-2-Amino-5-[[[(2R)-1-(carboxymethylamino)-1-oxo-3-sulfanylpentan-2-yl]amino]-5-oxopentanoic acid

2.4.1.3 สูตรโมเลกุล $C_{10}H_{17}N_3O_6S$ มวลโมเลกุล 307.32 g/mol

2.4.2 โครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน

กลูต้าไธโอนจะประกอบด้วยเพปไทด์สามโมเลกุล (tripeptide) เรียงต่อกันคือ ซีสเตอีน (cysteine) กรดกลูตามิก (glutamic) และไกลซีน (glycine) และมีพันธะเพปไทด์เชื่อมระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของหมู่ข้างกลูตามิกและหมู่เอมีนของซีสเตอีน และพันธะเพปไทด์เชื่อมระหว่างซีสเตอีนกับไกลซีน ดังรูปที่ 2.5 โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลช่วยในการรักษาสมดุลของปฏิกิริยารีดอกซ์และเกี่ยวข้องกับการให้อิเล็กตรอน



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน [36]

2.4.3 คุณสมบัติของกลูต้าไธโอน

2.4.3.1 Antioxidant

กลูต้าไธโอนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่มีความสำคัญในร่างกาย โดยกลูต้าไธโอนจะถูกเปลี่ยนเป็นเอนไซม์กลูต้าไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione peroxidase) [1] มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำหน้าที่เปลี่ยนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการเกิดความเสียหายต่อสารชีวโมเลกุลโดยเฉพาะดีเอ็นเอ (DNA) ซึ่งจะเป็นสาเหตุของการพัฒนาไปเป็นเซลล์มะเร็งได้ [38]

2.4.3.2 Detoxification

กลูต้าไธโอนช่วยสร้างเอนไซม์ชนิดต่างๆในร่างกาย โดยเฉพาะเอนไซม์ Glutathione-S-transferase (GSTs) ที่ตับ จะทำหน้าที่ช่วยในการกำจัดพิษออกจากร่างกายโดยจะไปเปลี่ยนสารพิษชนิดที่ไม่ละลายในน้ำ เช่น พวงโลหะหนัก สารระเหย ยาฆ่าแมลง หรือแม้แต่ยาบางชนิด ให้เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีขึ้นซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการกำจัดออกจากร่างกาย [39] นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันตับจากการถูกทำลายโดยแอลกอฮอล์ สารพิษจากบุหรี่ และจากการรับประทานยาพาราเซตามอลที่มากเกินไปจนเกินขนาด

2.4.3.3 Immune Enhancer

กลูต้าไธโอน จะช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมและเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล (Neutrophils) ซึ่งทำหน้าที่ต่อต้านเชื้อโรคที่เข้าสู่ร่างกาย และเป็นเม็ดเลือดขาวชนิดแรกที่ไปถึงเนื้อเยื่อที่มีการติดเชื้อ [37] และยังเพิ่มความสามารถในการทำงานของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ทำให้ร่างกายมีภูมิคุ้มกันเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์หลายชนิดเพื่อให้ร่างกายต่อต้านสิ่งแปลกปลอม รวมถึงเชื้อแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้กลูต้าไธโอนยังช่วยซ่อมแซมดีเอ็นเอ (DNA) และสร้างโปรตีน [39]

2.4.4 ประโยชน์ของกลูต้าไธโอน

2.4.4.1 การรักษาโรค

โรคมะเร็ง เนื่องจากกลูต้าไธโอนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันการเกิดเซลล์มะเร็ง และยังเป็นสารต้านการเกิดเนื้องอก (Antitumor) และใช้ลดพิษจากยารักษามะเร็งซึ่งเป็นเคมีบำบัด (Chemo protectant)

โรคทางระบบหลอดเลือดและหัวใจ พบว่า ในผู้ป่วยที่เป็นโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดฉับพลัน หรือโรคหลอดเลือดหัวใจ จะมีปริมาณกลูต้าไธโอนในเลือดต่ำกว่าปกติ และนอกจากกลูต้าไธโอนจะทำหน้าที่ทำลายอนุมูลอิสระแล้วยังพบว่า การจับกันระหว่างไนตริกออกไซด์กับกลูต้าไธโอนกลายเป็นไนโตรโซกลูต้าไธโอน (S-nitrosoglutathione) นั้นจะช่วยทำให้เกร็ดเลือดทำงานดีขึ้นและป้องกันการเกิดลิ่มเลือด รวมทั้งทำให้หลอดเลือดเกิดการขยายตัวได้ดีขึ้น

2.4.4.2 อาหารเสริมและเครื่องสำอาง

เนื่องจากกลูต้าไธโอนสามารถที่จะเข้าไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิน (Tyrosinase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างเม็ดสียูเมลานินซึ่งมีสีน้ำตาลให้กลายเป็นฟีโอเมลานิน (Pheomelanin) ซึ่งมีสีขาว ซึ่งจะทำให้ผิวดูขาวกระจ่างขึ้น [40] ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางอ้อมของกลูต้าไธโอนที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับในการนำมาผลิตเป็นอาหารเสริมและยารักษาฝ้า เนื่องจากหากได้รับในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้

2.4.5 ข้อห้ามและควรระวัง

2.4.5.1 ห้ามใช้กับผู้ที่มีแพ้ยาฉีดกลูต้าไธโอน

2.4.5.2 ห้ามใช้กับผู้ที่มีปลูกถ่ายอวัยวะ

2.4.6 ค่ามาตรฐานความปลอดภัย

อาหารเสริมที่มีส่วนผสมของกลูต้าไธโอนจัดเป็นอาหารเสริมชนิดกรดอะมิโนถูกขึ้นทะเบียนในบัญชีรายชื่อส่วนประกอบที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่กำหนดตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ฉบับราชกิจจานุเบกษา 18 ตุลาคม 2549 ที่กำหนดให้มีส่วนประกอบของแอล-กลูต้าไธโอน (L-glutathione) ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อเม็ด และเป็นผลิตภัณฑ์ที่แนะนำให้รับประทานได้ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/วัน [41]

2.4.7 ผลข้างเคียงจากกลูต้าไธโอน

2.4.7.1 ความผิดปกติต่อดวงตา

จากการที่ร่างกายได้รับสารกลูต้าไธโอนเป็นเวลานานๆจะทำให้เม็ดสีเมลานินบริเวณจอตา (ตาดำ) มีปริมาณลดลง ทำให้จอตาได้รับแสงได้น้อยลงและเสี่ยงต่อการมองเห็นได้ในอนาคต ทางวารสารทางการแพทย์ของประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้จัดว่า กลูต้าไธโอนเป็นสารที่อาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงทางตา [42]

2.4.7.2 โรคเมเร็งผิวหนัง

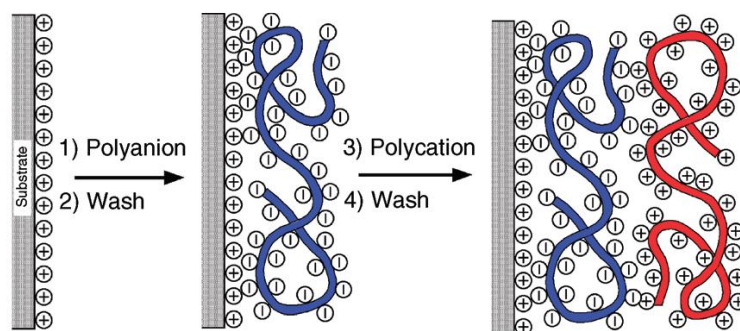
เนื่องจากร่างกายก็จะขาดเกราะป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ซึ่งจะทำให้ผิวเหี่ยวแห้งและแก่เร็วขึ้น เป็นผลมาจากการสะสมปริมาณของกลูต้าไธโอนที่มีมากเกินไปทำให้เม็ดสีผิวเมลานินมีปริมาณลดลง รวมทั้งยังเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดโรคเมเร็งผิวหนังอีกด้วย

ดังนั้นถึงแม้ตัวกลูต้าไธโอนเองจะเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระก็ตาม แต่การได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ตในปริมาณมากกลับอันตรายยิ่งกว่าอนุมูลอิสระเสียอีก [33]

2.5 เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)

เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเป็นการสร้างฟิล์มบาง โดยวิธีการประกอบแบบชั้นต่อชั้น แผ่นฟิล์มบางนั้นเกิดจากการเรียงตัวกันของสารที่มีประจุต่างชนิดกันสลับกัน โดยเทคนิคนี้ได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1966 โดยอาเค ไอเลอร์ (R.K. Iler) การสร้างแผ่นฟิล์มบางโดยการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น คือการสร้างฟิล์มหลายๆชั้นขึ้นตามกลไกการเกิดไฟฟ้าสถิต [43] และยังสามารถเกิดขึ้นตามกลไกของพันธะไฮโดรเจน พันะไอออนิก และยังเกิดจากแรงแวนเดอร์วาลส์ได้อีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่นำมาใช้ในการสร้างแผ่นฟิล์มบาง

หลักการของเทคนิคนี้ อาศัยแรงดึงดูดของประจุที่แตกต่างกันของโพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) สลับกันบนซับสเตรท (Substrate) เช่น กระดาษ แก้วหรือโลหะ ข้อดีของเทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นคือ สามารถทำได้ง่ายและอุปกรณ์หาไม่ยาก มีความยืดหยุ่นสูงกับวัตถุที่มีรูปร่างและขนาดผิดปกติ และสามารถควบคุมความหนาของแต่ละชั้นได้ตามต้องการ



รูปที่ 2.6 กระบวนการสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้น [44]

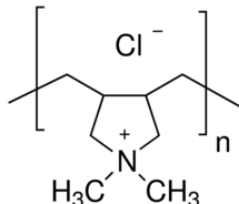
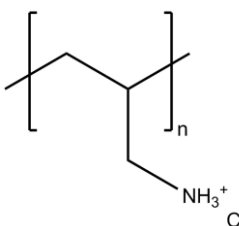
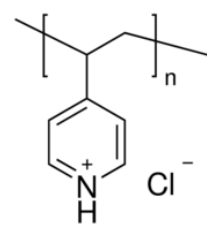
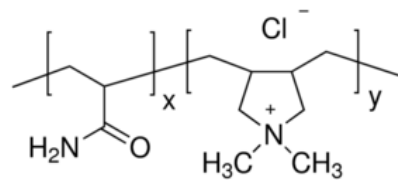
จากรูปที่ 2.6 อธิบายถึงการสร้างแผ่นฟิล์มบางโดยในขั้นแรกจะนำไปจุ่มในสารละลายโพลีแอนไอออนซึ่งมีประจุเป็นบวก แล้วนำไปล้างน้ำ จากนั้นนำไปจุ่มต่อในสารละลายโพลีแคทไอออนซึ่งมีประจุเป็นลบแล้วนำไปล้างน้ำ โดยจำนวนชั้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการและนำไปใช้ในด้านต่างๆ

2.5.1 โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)

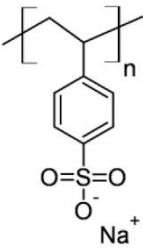
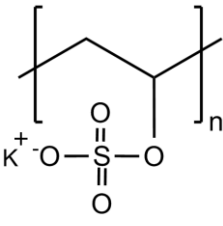
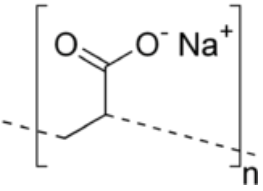
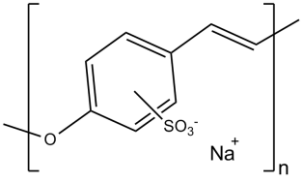
โพลีอิเล็กโทรไลต์ คือ พอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอร์ที่มีฟังก์ชันซึ่งสามารถเกิดประจุได้ โดยโพลีอิเล็กโทรไลต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ โพลีแคทไอออน (Polycation) และโพลีแอนไอออน (Polyanion) สมบัติของโพลีอิเล็กโทรไลต์จะสามารถแตกตัวเป็นไอออนได้เมื่อละลายน้ำ ทำให้มีความสามารถในการนำไฟฟ้า

โพลีแอนไอออน (Polyanion) คือโพลีที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถแตกตัวได้เป็นประจุลบ ส่วนโพลีแคทไอออน (Polycation) คือโพลีที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันซึ่งสามารถเกิดประจุบวกได้ โดยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นจะเป็นการนำโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุตรงข้ามกันมาเคลือบไว้บนผิวของซับสเตรท โดยจำนวนชั้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่เคลือบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่เราต้องการ และขึ้นอยู่กับนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งเรียกสิ่งที่เกิดขึ้นนี้ว่า โพลีอิเล็กโทรไลต์หลายชั้น (Polyelectrolyte multilayers) [44][45]

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก (Polycation)

ชื่อโพลีอิเล็กโทรไลต์	โครงสร้าง
Poly (diallyldimethyl ammonium chloride) (PDADMAC)	
Poly (diallyl amine hydrochloride) (PAH)	
Poly (4-Vinyl Pyridine) (P4VP)	
Poly(acrylamide-co-diallyldimethyl ammonium chloride) (PADAC)	

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุลบ (Polyanion)

ชื่อโพลีอิเล็กโทรไลต์	โครงสร้าง
Poly(sodium 4-styrenesulfonate) (PSS)	
Poly (potassium vinyl sulfate) (PVS)	
Polyacrylate (PA)	
Poly(sodium anetholesulfonic acid)	

2.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterizations)

2.6.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer) เป็นเทคนิคหนึ่งทางสเปกโตรสโคปี ซึ่งจะศึกษาถึงการดูดกลืนแสงของสารละลายและเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่าความเข้มของแสง (Intensity) ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยสารตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ [46]

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของเบียร์ แลมเบิร์ต ค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ [47]

ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1. Light source

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วย หลอดกำเนิดแสงมีหลากหลายชนิดตามความยาวคลื่นที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ตามความเหมาะสมของสารตัวอย่างที่นำมาตรวจวัด

2. Monochromator

ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมโนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆหรือมีความยาวคลื่นเดียวจะใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี) ปริซึม (prism) หรือเกรตติง (grating)

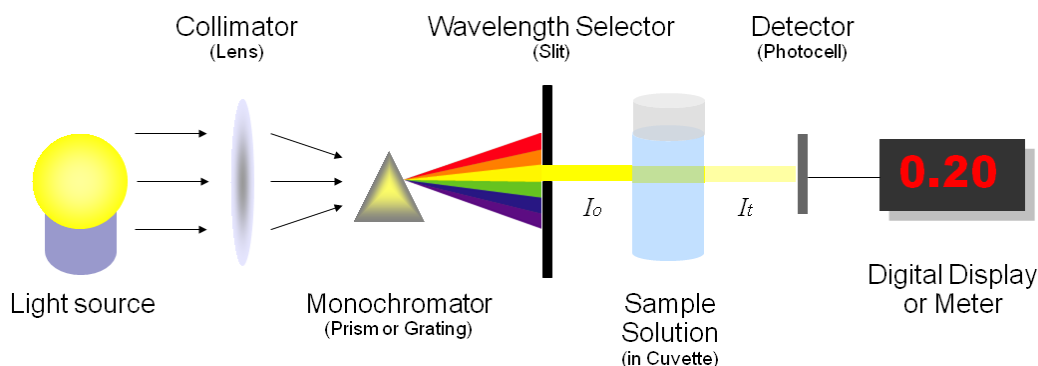
3. Cell sample

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวท (cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดาจะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิล และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกาและควอตซ์ (quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. Detector

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง ถึงแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ

หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (silicon diode detector)



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ [48]

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงองค์ประกอบของเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยจะเริ่มต้นจากแหล่งกำเนิดแสงเมื่อลำแสงออกมาจะผ่านเลนส์ซึ่งจะทำหน้าที่รวมแสงให้ลำแสงไปกระทบกับโมโนโครเมเตอร์ แล้วผ่านไปยังสารตัวอย่าง และจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ ค่าที่ได้จะแสดงผลในหน้าจอคอมพิวเตอร์

รูปแบบของเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (types of Spectrophotometer)

1. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว (single beam spectrophotometer)

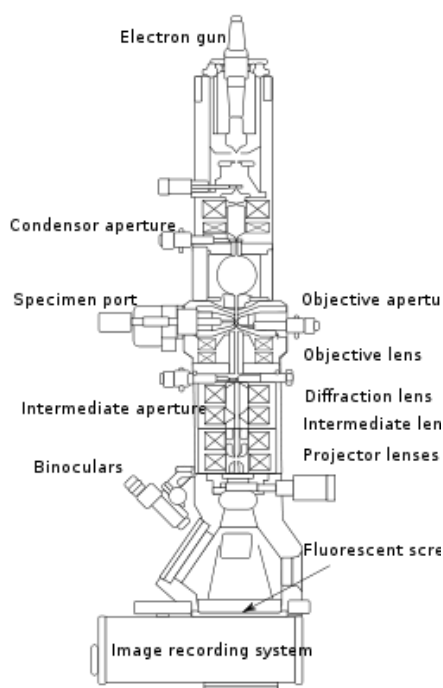
หลักการของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดียวนั้น เมื่อแสงออกจากแหล่งกำเนิดแสงแล้ว จะผ่านโมโนโครเมเตอร์ที่เป็นเกรตติง และสารตัวอย่างตามลำดับ แล้วจึงเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณ ตลอดเส้นทางของลำแสงนี้จะมีลำแสงเดียวจึงเรียก สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ว่า แบบลำแสงเดี่ยว เนื่องจากสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำแสงเพียงลำเดียวผ่านจากโมโนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัดและเข้าสู่ตัวตรวจจับสัญญาณเลย

2. สเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ (double beam spectrophotometer)

สำหรับสเปกโตรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ เมื่อลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงออกจากช่องแสงออก (exit slit) แล้ว ลำแสงจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำแสง (beam chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนลำแสงไปผ่านสารตัวอย่าง และต่อมาจะสะท้อนลำแสงไปผ่านสารอ้างอิง (reference) ซึ่งก็คือแบบลงคั่นเอง โดยที่ลำแสงทั้งสองจะมีความเข้มแสงเท่ากันก่อนที่จะผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิง เมื่อลำแสงทั้งสองนี้ไปตกกระทบบนตัวตรวจจับสัญญาณ ความแตกต่างของความเข้มแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิงจะกลายเป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.6.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงเนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจจแสงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านนี้จะประกอบด้วย แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงของอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด [49]



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [50]

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope) โดยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมาจาก electron gun และอิเล็กตรอนที่ได้จะผ่าน condenser lens เพื่อรวมแสงให้ตกกระทบบมายังตัวอย่าง ลำ

อิเล็กทรอนิกส์จะผ่านตัวอย่างไปยัง objective lens และ intermediate lens ซึ่งทำหน้าที่ในการขยายภาพ และจะถูกขยายต่อโดย projector lens แล้วฉายภาพขยายลงบนฉากเรืองแสง (screen)

2.6.3 ฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์

ฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer; FT-IR) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบและศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร โดยเป็นการทำเชิงคุณภาพวิเคราะห์ที่ใช้สำหรับหาเกี่ยวกับโครงสร้างของสารอินทรีย์ เช่น หาหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เป็นต้น การทำงานจะทำการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ Near Infrared ($12,800 - 4,000 \text{ cm}^{-1}$) Middle Infrared ($4,000 - 200 \text{ cm}^{-1}$) และ Far Infrared ($200 - 10 \text{ cm}^{-1}$) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและก๊าซ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะใช้เวลาน้อยและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพหรือเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของตัวอย่าง [51]

ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโดยเกิดการสั่นแบบยืด (stretching) และแบบงอ (bending) ของพันธะในโมเลกุลของสาร การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเป็นขบวนการควันไทส์ (quantized) กล่าวคือที่สารจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้น ความถี่ของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะต้องตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะนั้น การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเลขคลื่น (Wave number) กับค่าการส่องผ่านของแสง (%Transmittance) ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 การตรวจวัดเชิงสีของนิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีน

(Glutathione and L-cysteine modified silver nanoplates based colorimetric assay for a simple, fast, sensitive and selective determination of nickel)

ธัญญาภรณ์ เกียรติกำจร และคณะ [52] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของนิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์สารสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่หนึ่งทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์และใช้เมทิลเซลลูโลสเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และขั้นตอนที่สองคือ การดัดแปรอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีนโดยนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 44 มิลลิลิตรที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่งมาเติมสารละลายกลูต้าไธโอนที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมแอล-ซิสเทอีนที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตรจะได้คอลลอยด์สีชมพูที่มีการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรกับกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีน

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค ยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ยังไม่ได้ดัดแปรพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 487 นาโนเมตร แต่เมื่อนำมาดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีนพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 501 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างหมู่ไทออลของกลูต้าไธโอนและแอลซิสเทอีนกับอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร และเมื่อนำสารละลายนี้ไปทดสอบกับสารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้นต่างๆพบว่า สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนและแอลซิสเทอีนมีการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายสีชมพูเป็นสารละลายสีม่วงที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 618 นาโนเมตร ซึ่งสีที่เปลี่ยนไปเกิดจากนิกเกิลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนและหมู่คาร์บอกซิลิก โดยมีภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ช่วยยืนยันว่า เมื่อยังไม่ได้ทดสอบกับสารละลายนิกเกิลอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรจะมีการกระจายตัว แต่เมื่อนำนิกเกิลมาทดสอบพบว่าจะมีการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรเกิดขึ้น จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 150 ppb ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9971 และพบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 7.02 ppb และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOQ) เท่ากับ 23.01 ppb โดยคณะผู้วิจัยได้สรุปว่าการวิเคราะห์นิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเทอีนนี้มีความจำเพาะเจาะจงและมีความไวในการวิเคราะห์นิกเกิลไอออน โดยวิธีสามารถตรวจวัดได้ง่ายและรวดเร็ว

2.7.2 การใช้กลูต้าไธโอนเป็นสื่อกลางในการเชื่อมอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนให้เป็นสายโซ่ยาวสำหรับตรวจวัดตะกั่ว

(Sensing of lead ions using glutathione mediated end to end assembled gold nanorod chains)

C.V. Durgadasa และคณะ [53] ได้ศึกษาการตรวจวัดตะกั่วโดยใช้อนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนที่มีการเชื่อมระหว่างอนุภาคด้วยกลูต้าไธโอนให้เป็นสายโซ่ยาว โดยทั่วไปแล้วกลูต้าไธโอนจะเป็นสารที่ช่วยในการขับสารพิษที่สำคัญในร่างกายมนุษย์ จึงเป็นแนวทางในการนำกลูต้าไธโอนมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดตะกั่ว ขั้นตอนการสังเคราะห์จะแบ่งเป็นสามขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนที่หนึ่งทำการสังเคราะห์เมล็ดทอง โดยการผสมสารละลายเตตระคลอโรออเรท ไตรไฮเดรต (HAuCl_4) ที่ความเข้มข้น 2.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตร และเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) ความเข้มข้น 0.01 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 4 ชั่วโมงจะได้สารละลายสีน้ำตาล ขั้นตอนที่สองทำการสังเคราะห์อนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนโดยการนำสารละลายที่ได้จากขั้นตอนที่หนึ่งมา 100 ไมโครลิตร เติมนลงในสารละลายที่ผสมระหว่างสารละลาย HAuCl_4 ความเข้มข้น 2.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย CTAB ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 30 มิลลิลิตรและสารละลายแอสคอร์บิกเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตรตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะได้สารละลายสีน้ำเงินของอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโน และในขั้นตอนที่สามทำการสังเคราะห์อนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนร่วมกับกลูต้าไธโอน โดยผสมสารละลายอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนเข้มข้น 2.5 mg/ml ที่ได้จากขั้นตอนที่สองกับสารละลายกลูต้าไธโอนความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศา เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้สารละลายอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนที่เชื่อมระหว่างอนุภาคด้วยกลูต้าไธโอนเป็นสายโซ่ยาวสำหรับนำไปตรวจวัดตะกั่ว

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีของสารละลายอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโน พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสง 2 ช่วงคือที่ความยาวคลื่น 717 และ 532 นาโนเมตร และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านชนิดความละเอียดสูง (HRTEM) พบว่า มีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนเท่ากับ 3.25 นาโนเมตรและจากการศึกษาถึงอิทธิพลของกลูต้าไธโอนที่ทำให้อนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนเชื่อมกันเป็นสายโซ่ยาวพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร จะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อมีการเติมสารละลายกลูต้าไธโอนลงไป แต่ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 717 นาโนเมตรมีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงไปที่ 843 นาโนเมตร ทั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนได้รวมตัวกับกลูต้าไธโอน (GNR-GSH) เป็นสายโซ่ยาว

แล้ว จากการนำสารละลาย GNR-GSH ไปตรวจวัดตะกั่วพบว่า เมื่อนำสารละลายที่ตรวจวัดตะกั่วไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านชนิดความละเอียดสูง (HRTEM) พบว่าสายโซ่ของอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนมีการแตกหักที่บริเวณหมู่ฟังก์ชันของเอมีนและหมู่คาร์บอกซิลิกซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของกลูต้าไธโอนที่เชื่อมระหว่างอนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนกับกลูต้าไธโอนซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารละลาย GNR-GSH สามารถตรวจวัดตะกั่วได้ และจากการศึกษาความจำเพาะของวิธีนี้พบว่า อนุภาคทองรูปทรงแท่งระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนอยู่จะมีความจำเพาะเจาะจงสูงเนื่องจากตัวรบกวนที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ และงานวิจัยนี้สามารถตรวจวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วได้ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.025 มิลลิโมลาร์และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 0.025 มิลลิโมลาร์

2.7.3 การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอนเพื่อให้มีความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทที่ความเข้มข้นในระดับนาโนโมลาร์ โดยวิธีการตรวจวัดเชิงสี

(Highly selective colorimetric detection and estimation of Hg^{2+} at nano-molar concentration by silver nanoparticles in the presence of glutathione)

Ayesha Alam และคณะ [54] ศึกษาการตรวจวัดเชิงสีของปรอทโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปรด้วยกลูต้าไธโอน โดยทำการสังเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารทางชีวภาพ โดยใช้สารสกัดจากใบโศกอินเดีย (*Polyalthia longifolia*) และใช้สารละลายกลูต้าไธโอนเข้ามามีส่วนร่วมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อให้มีความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทที่ความเข้มข้นระดับนาโนโมลาร์ โดยในขั้นการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทำได้โดยการผสมสารละลายที่ได้จากการสกัดจากใบไม้ 5 มิลลิลิตร กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเหลืองน้ำตาลเกิดขึ้น

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ได้ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลืองน้ำตาล พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 432 นาโนเมตร และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าอนุภาคเงินมีลักษณะทรงกลม ขนาดประมาณ 5 นาโนเมตร จากนั้นนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปตรวจวัดปรอทโดยการเติมสารละลายกลูต้าไธโอน ความเข้มข้น 1 โมลาร์ลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 แล้วเติมสารละลายปรอทลงไปที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 10 จนถึง 100 นาโนโมลาร์ พบว่ายิ่งความเข้มข้นของสารละลายปรอทสูงขึ้นจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปร

ด้วยกลูต้าไธโอนมีค่าการดูดกลืนแสงลดลง จากการทดลองคณะผู้วิจัยจึงสรุปได้ว่า วิธีในการวิเคราะห์นี้สามารถตรวจวัดปริมาณปรอทได้ตั้งแต่ช่วงความเข้มข้น 10 จนถึง 100 นาโนโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9741 และโดยวิธีการวิเคราะห์นี้มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัด และมีความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทสูง

2.7.4 การใช้สารละลายเงินที่สังเคราะห์ร่วมกับ 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB)

เพื่อให้มีความไวและจำเพาะต่อการตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีการตรวจวัดเชิงสี

(Highly sensitive and selective colorimetric detection of glutathione based on Ag⁺ ion-3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB))

งานวิจัยของ Pengjuan Ni และคณะ [55] ได้นำเสนอการตรวจวัดกลูต้าไธโอนโดยใช้สารละลายเงินที่สังเคราะห์ร่วมกับ 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) ซึ่งเป็นสารอินดิเคเตอร์ที่ทำให้สารละลายเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำสารละลายที่สังเคราะห์ได้มาตรวจวัดกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่า สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสารละลายใสไม่มีสีเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ในขั้นตอนการสังเคราะห์สารละลายเงินร่วมกับสารละลาย 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) โดยผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร กับสารละลาย TMB เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตรจะได้สารละลายสีน้ำเงิน (TMB-Ag⁺) ซึ่งใช้สำหรับตรวจวัดกลูต้าไธโอน

เมื่อทำการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีพบว่าสารละลาย TMB-Ag⁺ มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 652 นาโนเมตร และเมื่อนำสารละลาย TMB-Ag⁺ ไปตรวจวัดกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า เมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มมากขึ้นสีของสารละลาย TMB-Ag⁺ มีแนวโน้มเปลี่ยนจากสารละลายสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี โดยค่าการดูดกลืนแสงจะลดลง ทั้งนี้อาจจะเกิดจากสาเหตุสองประการดังนี้คือ เมื่อมีการเติมกลูต้าไธโอนลงในสารละลาย TMB-Ag⁺ กลูต้าไธโอนอาจจะไปทำปฏิกิริยากับ TMB หรืออาจจะเกิดจากกลูต้าไธโอนเข้าทำปฏิกิริยากับ Ag⁺ ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยานี้จะไปยับยั้งกระบวนการออกซิไดซ์ของสารละลาย TMB จึงทำให้สารละลายมีสีจางลงเมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาความจำเพาะในการตรวจวัดของวิธี โดยทำการนำสารละลาย TMB-Ag⁺ ไปทำการตรวจวัดซิสเตอีนและโฮโมซิสเตอีน ซึ่งสารทั้งนี้มีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับ Ag⁺ ได้เหมือนกับกลูต้าไธโอนพบว่า สารละลายทั้งสองมีการตอบสนองต่อสารละลาย TMB-Ag⁺ ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับสารละลายกลูต้าไธโอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธีที่ใช้ในการตรวจวัดกลูต้าไธโอนนี้มีความไว และมีความจำเพาะต่อการตรวจวัดกลูต้าไธโอนสูงกว่าซิสเตอีนและโฮโมซิสเตอีน และสามารถวิเคราะห์

หาปริมาณกลูต้าไธโอนได้ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 ถึง 8 ไมโครโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.9996 และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 0.05 ไมโครโมลาร์

2.7.5 การตรวจวัดไอโอไดต์ด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีที่มีความแม่นยำและความไวสูงโดยใช้นุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนในการหากระบวนการเปลี่ยนสี

(A colorimetric method for highly sensitive and accurate detection of iodide by finding the critical color in a color change process using silver triangular nanoplates)

งานวิจัย Xiu-Hua Yang และคณะ [56] ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดไอโอไดต์ที่มีความแม่นยำและความไวสูง โดยใช้นุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนมาศึกษากระบวนการเปลี่ยนแปลงสี โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคนเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี ซึ่งจะใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์และไตรโซเดียมซิเตรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ในขั้นตอนการสังเคราะห์เริ่มจากผสมซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30 wt% ปริมาตร 120 ไมโครลิตร ผสมกันพร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เย็นความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 250 ไมโครลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงินสำหรับนำไปตรวจวัดไอโอไดต์

จากการศึกษาด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) พบว่าสารละลายอนุภาคนเงินรูปร่างสามเหลี่ยมสามารถตรวจวัดไอโอไดต์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆได้ โดยเมื่อนำสารละลายอนุภาคนเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนไปตรวจวัดไอโอไดต์สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสีเหลือง ทั้งนี้เกิดจากไอโอไดต์เข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคนเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนแล้วทำให้อนุภาคนเงินรูปร่างสามเหลี่ยมมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเป็นทรงกลมจึงเกิดเป็นสารละลายสีเหลืองเกิดขึ้น และจากการการตรวจวัดไอโอไดต์พบว่าที่ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ ซึ่งสามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ด้วยตาเปล่า แต่ที่ความเข้มข้นต่ำกว่านี้จนถึง 8.8 นาโนโมลาร์ สามารถตรวจวัดได้โดยใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำ ความไว มีเสถียรภาพสูงและความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีการตรวจวัดเชิงสีตามปกติ นอกจากนี้แล้วเชื่อว่า วิธีการตรวจวัดเชิงสีนี้จะ เป็นแนวทางในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดเชิงสีอีกมากมายในอนาคต

2.7.6 การเปลี่ยนแปลงอนุภาคเงินระดับนาโนรูปทรงต่างๆ ให้เป็นอนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมอย่างรวดเร็วโดยอาศัย PVP, Citrate และ H_2O_2

(Rapid Transformation from Spherical Nanoparticles, Nanorods, Cubes, or Bipyramids to Triangular Prisms of Silver with PVP, Citrate and H_2O_2)

Masaharu Tsuji และคณะ [57] ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนรูปทรงสามเหลี่ยมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอนุภาคเงินระดับนาโนรูปทรงแท่ง รูปทรงสี่เหลี่ยม และรูปทรงพีระมิดคู่ โดยอาศัยสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไตรโซเดียมซิเตรท และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยควบคุมให้เกิดอนุภาครูปทรงต่างๆ งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาดังนี้ ขั้นตอนที่ยี่สิบ ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปทรงต่างๆ ได้แก่ อนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยม (วิธีพื้นฐาน) รูปทรงแท่ง และรูปทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงพีระมิดคู่ ขั้นตอนที่สองศึกษาอิทธิพลของ โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไตรโซเดียมซิเตรท และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ทำให้เกิดอนุภาครูปทรงสามเหลี่ยม โดยศึกษาจากสารละลายอนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีพื้นฐาน โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโนที่มีการเติมโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไตรโซเดียมซิเตรทและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) แล้วนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ขั้นตอนที่สามศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโนโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนรูปทรงแท่ง รูปทรงสี่เหลี่ยมและรูปทรงพีระมิดคู่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสารตั้งต้นจากการเติมและไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ในขั้นตอนการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโน

จากการศึกษาอิทธิพลของโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไตรโซเดียมซิเตรทและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ทำให้เกิดอนุภาครูปทรงสามเหลี่ยมในขั้นตอนที่สอง โดยนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าอนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมมีขนาดเฉลี่ย 45 นาโนเมตร แต่เมื่อทำการสังเคราะห์โดยไม่เติมโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) พบว่าอนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมมีขนาดเฉลี่ย 20 ถึง 120 นาโนเมตร ต่อมาสังเคราะห์โดยไม่เติมไตรโซเดียมซิเตรทพบว่าอนุภาคเงินรูปทรงกลมที่มีขนาดเฉลี่ย 14 ± 4 นาโนเมตรและทำการสังเคราะห์โดยไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลงไปพบว่า อนุภาคเงินรูปทรงกลมที่มีขนาดเฉลี่ย 23 ± 7 และ 3 ± 1 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทั้งไตรโซเดียมซิเตรทและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโนขึ้น แต่โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยให้เกิดอนุภาคสามเหลี่ยมแต่จะช่วยให้อนุภาคเงินรูปทรงสามเหลี่ยมเกิดการกระจายตัวที่ดีขึ้น และจากการศึกษาในขั้นตอนที่สามโดยนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่า เมื่อยังไม่เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สารตั้งต้นยังคงเป็นรูปทรงเดิม แต่เมื่อมี

การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ลงไปในสารตั้งต้น พบว่าอนุภาคของสารตั้งต้นมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมได้จริง จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า ไตรโซเดียมซิเตรท และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอนุภาคนาโนรูปทรงสามเหลี่ยมระดับนาโนขึ้นโดยไตรโซเดียมซิเตรทเป็นตัวช่วยควบคุมอนุภาคให้มีความเสถียรภาพเพื่อให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กัดกร่อนอนุภาคเป็นรูปทรงสามเหลี่ยมได้ง่ายขึ้น

2.7.7 การตรวจวัดเชิงสีของไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) โดยใช้อนุภาคนาโนรูปทรงกลม รูปร่างสามเหลี่ยม และรูปแท่งในระดับนาโน

(Colorimetric Detection of Co^{2+} Ion Using Silver Nanoparticles with Spherical, Plate, and Rod Shapes)

Hwa Kyung Sung และคณะ [58] ศึกษาการตรวจวัดเชิงสีของไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) โดยใช้อนุภาคนาโนรูปทรงต่างๆ เพื่อหารูปทรงที่เหมาะสมในการตรวจวัดไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) ทำโดยเตรียมเมล็ดของอนุภาคนาโนเมตร โดยผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร กับสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้น 17 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร ค่อยๆหยดลงพร้อมกับปั่นกวน จะได้ในเมล็ดของอนุภาคนาโน จากนั้นสังเคราะห์รูปร่างต่างๆได้แก่ อนุภาคนาโนรูปทรงกลมระดับนาโนเมตรสังเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรต 85 มิลลิกรัมและโพลีไวนิลไพร์ลิโดน (PVP) 83 มิลลิกรัม จากนั้นเติมเอทิลีนไกลคอล (EG) 10 mL นำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน โดยล้างเอาเอทิลีนไกลคอลออกและนำไปผสมกับน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 19.4 มิลลิลิตรและโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.6 มิลลิลิตร จะได้ออกมาเป็นอนุภาคนาโนรูปทรงกลมระดับนาโนเมตร อนุภาคนาโนรูปสามเหลี่ยมระดับนาโนเมตรสังเคราะห์โดยเตรียมละลายไตรโซเดียมซิเตรท 0.1 กรัมผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 18 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.14 มิลลิลิตร และกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรแล้วตามด้วยน้ำปราศจากไอออน 20 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมเมล็ดของอนุภาคนาโนระดับนาโนเมตรที่เตรียมไว้ในตอนแรกลงไปจะได้สารละลายสีน้ำเงิน และทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนรูปแท่งระดับนาโนจะใช้สารละลายซิลิโคนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยเตรียมเมล็ดของอนุภาคนาโนมาปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายซิลิโคนไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เข้มข้น 25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.125 มิลลิลิตรและกรดแอสคอร์บิกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้สารละลายสีน้ำเงินจางๆ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ทั้งสามมาเติมกลูต้าไธโอน (GSH)

0.025 กรัม แล้วเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรรูปทรงต่างๆที่มีกลูต้าไธโอน

จากการศึกษาเมื่อนำมาตรวจวัดไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) พบว่า อนุภาคเงินรูปทรงกลมระดับนาโนเมตรพบว่า มีความไวในการตรวจไอออนของโลหะทุกชนิด แต่ไม่มีความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัด และอนุภาคเงินรูปร่างสามเหลี่ยมระดับนาโนเมตรไม่เหมาะแก่การนำมาทำการตรวจวัดเชิงสี และอนุภาคเงินรูปแท่งระดับนาโนเมตรมีความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัดกับไอออนโคบอลต์ (Co^{2+}) สูง เพราะสารละลายซิทธิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เกิดพันธะกับไอออนโคบอลต์ ทำให้สารละลายซิทธิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ถูกแยกออกจากพื้นผิวของอนุภาคเงินรูปแท่งระดับนาโนเมตร โดยคณะผู้วิจัยนี้ได้สรุปว่า อนุภาคเงินรูปทรงกลมระดับนาโนเมตรสามารถนำไปทำเป็นตัวตรวจวัดเชิงสีได้กับไอออนของโลหะต่างๆได้ดี และอนุภาคเงินรูปแท่งระดับนาโนเมตรที่นำมาปรับปรุงด้วยกลูต้าไธโอนมีความไวในการตรวจวัดไอออนโคบอลต์สูง

2.7.8 การตรวจวัดไอออนของตะกั่วด้วยเทคนิคเชิงสีโดยใช้อนุภาคเงิน

(Colorimetric Detection of Lead Ions Using Glutathione Stabilized Silver Nanoparticles)

I.V. Anambiga, และคณะ [59] ได้นำเสนอการศึกษาการตรวจวัดไอออนของตะกั่วจากอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนช่วยรักษาเสถียรภาพอยู่ด้วยเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีลดชั้นทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ ซิลเวอร์ไนเตรต และใช้กลูต้าไธโอนเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ขั้นตอนในการสังเคราะห์ทำโดยนำสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์มาผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตด้วยการปั่นกวนในอุณหภูมิห้องจะได้สารละลายมีสีเหลือง หลังจากปั่นกวนได้ประมาณ 5 นาทีจึงเติมสารละลายกลูต้าไธโอนลงไป 2 มิลลิลิตรค่อยๆหยดลง จากนั้นปั่นกวนในที่มืดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ จากนั้นนำไปตรวจวัดกับไอออนของตะกั่วที่ความเข้มข้น 10^{-3} ถึง 10^{-9} โมลาร์ และศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนรักษาเสถียรภาพอยู่นั้นในช่วงความเป็นกรด-เบสที่พีเอชต่างๆ

จากการศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปีและการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) พบว่า ความเข้มข้นของไอออนของตะกั่วที่ต่ำที่สุดที่อนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนรักษาเสถียรภาพอยู่สามารถตรวจวัดได้ เท่ากับ 10^{-9} โมลาร์ และในสภาวะในช่วงความเป็นกรด-เบสที่พีเอช 3 ถึง 7 โดยสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้มซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) กับหมู่เอมีนและหมู่คาร์บอกซิลิก จึงทำให้วิธีนี้มีไวในการวิเคราะห์และมีความจำเพาะกับไอออนของตะกั่ว (Pb^{2+}) ซึ่งในอนาคตต่อไปงานวิจัยนี้จะถูกนำไปพัฒนาวิธีเป็นตัวรับรู้บนแผ่นชิป โดยอาศัยเทคนิค MEMS ต่อไป

2.7.9 การตรวจวัดเชิงสีสำหรับไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรโดยใช้กลูต้าไธโอนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

(Glutathione-stabilized silver nanoparticles as colorimetric sensor for Ni^{2+} ion)

Haibing Li และคณะ [60] ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดเชิงสีของไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีกลูต้าไธโอนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.012 กรัมแล้วใส่ลงในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตพร้อมทำการปั่นกวนจะได้เป็นสารละลายสีเหลือง หลังจากปั่นกวนผ่านไป 5 นาทีจึงเติมสารละลายกลูต้าไธโอนเข้มข้น $10^{-3} \text{ molL}^{-1}$ ปริมาณ 2 มิลลิลิตรโดยค่อยๆเติมลงไปจากนั้นปั่นกวนทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมงในที่มืด

จากการศึกษาพบว่า เมื่อนำสารละลายนี้ไปทดสอบกับไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) ที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่า สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ใช้กลูต้าไธโอนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพมีการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายสีเหลืองเป็นสารละลายสีส้ม ซึ่งเกิดจากไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) เข้าทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีนและหมู่คาร์บอกซิล โดยมีภาพถ่ายจากเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ช่วยยืนยันว่า เมื่อยังไม่ได้ทดสอบกับไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) อนุภาคจะมีการกระจายตัว แต่เมื่อนำมาทดสอบกับไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) พบว่าจะมีการรวมตัวของอนุภาคเกิดขึ้น จากการทดลองสามารถวิเคราะห์ไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) ในช่วงความเข้มข้น 10^{-6} ถึง 10^{-4} โมลลาร์ และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 7.5×10^{-5} โมลลาร์

2.7.10 การรวมตัวของกลูต้าไธโอนกับอนุภาคทองระดับนาโน โดยเหนี่ยวนำของไอออนนิกเกิล (Ni^{2+})

(Aggregation of glutathione-functionalized Au nanoparticles induced by Ni^{2+} ions)

W. Yang และคณะ [61] ศึกษาการรวมตัวของกลูต้าไธโอนกับอนุภาคทองระดับนาโน โดยเหนี่ยวนำของไอออนนิกเกิล (Ni^{2+}) โดยขั้นตอนการสังเคราะห์ทำโดยนำสารละลายเตตระคลอโรออเรท ไตรไฮเดรต (HAuCl_4) ที่ความเข้มข้น 0.37 มิลลิโมลลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรไปให้ความร้อนพร้อมปั่นกวน จากนั้นเติมไตรโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 1.9 มิลลิโมลลาร์ โดยเมื่อเติมไตรโซเดียมซิเตรทลงไปที่สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองกลายเป็นสีแดง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงโดยใช้เครื่อง centrifugation (8,000 rpm) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้อนุภาคทองระดับนาโนเกิดการกระจายตัว หลังจากนั้นเติมสารละลายกลูต้าไธโอนเติมลงไปและนำอนุภาคทองนาโนที่ได้ไปศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกันจะมีผลต่อการรวมตัวกันของกลูต้าไธโอนกับอนุภาคทองระดับนาโน โดยพบว่า ที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 9 หมู่คาร์บอกซิลิกของกลูต้าไธโอนจะเข้าไปจับกับไอออนของนิกเกิล (Ni^{2+}) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพน้อยที่จะทำให้เกิดการรวมตัวกัน

เนื่องจากหมู่คาร์บอกซิลิกไม่มีความสามารถที่จะยึดเหนี่ยวกับอนุภาคของระดับนาโน และที่ค่าพีเอชประมาณ 9.8 พบว่า หมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่เอมีนของกลูต้าไรโอนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุภาคของระดับนาโน เนื่องจากหมู่เอมีนชอบที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวได้มาก และที่ค่าพีเอชสูงกว่า 10.5 เมื่อเติมникเกลลงไปพบว่า ประสิทธิภาพที่จะทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคของระดับนาโนเกิดได้เพียงชั่วคราวเป็นผลมาจากหมู่ไฮดรอกซิล คณะผู้ทำการวิจัยได้จัดทำงานวิจัยขึ้นเพื่อให้เป็นประโยชน์สำหรับการทำความเข้าใจเกี่ยวกับความไวในการวิเคราะห์และความจำเพาะของกลูต้าไรโอนกับอนุภาคของระดับนาโนในการนำมาวิเคราะห์ไอออนโลหะชนิดต่างๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น