



บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการหาพอลิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรดแล้วเกิดอนุภาคเงินนาโน

ผลการทดลองสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 โดยตารางได้แบ่งการพิจารณาผลเป็นเวลา 2 วัน จากการพิจารณาพบว่าสารละลายที่มีลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนคือสารละลายผสมชนิดที่มี PMA, Alginate และ Copolymer เนื่องจากมีการเปลี่ยนสี และมีลักษณะใส

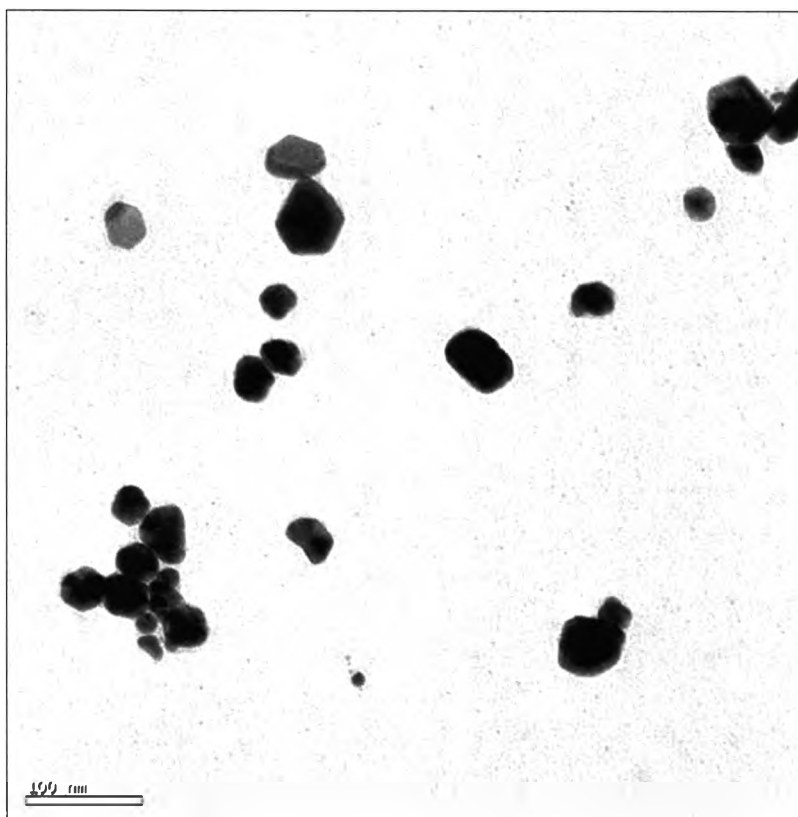
ตารางที่ 4.1 ผลการหาพอลิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรดแล้วเกิดอนุภาคเงินนาโน ชุดที่ 1 สัดส่วนความเข้มข้น 1:100 (mM)

พอลิเล็กโทรไลต์	วันที่ 1	วันที่ 2
PMA	ชมพูอ่อน	ชมพูเข้มขึ้นเล็กน้อย
PDAD	ม่วงอ่อนมาก มีตะกอนขุ่น	ม่วงอ่อนมาก และตะกอนขุ่นขึ้น
Alginate	แดงอมส้ม	แดงเข้ม
Chitosan	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
PSS	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	เขียวอ่อนมาก
PEI	เขียวอ่อนมาก	เขียวอ่อนมาก และมีตะกอน

ตารางที่ 4.2 ผลการหาพอลิเล็กโทรไลต์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรดแล้วเกิดอนุภาคเงินนาโน ชุดที่ 2 สัดส่วนความเข้มข้น 1:10 (mM)

พอลิเล็กโทรไลต์	วันที่ 1	วันที่ 2
Copolymer	เหลือง	เหลือง
Glucose	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
Alginate	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 มิลลิโมลาร์ ซึ่งหมายถึงมีสาร Copolymer 10 มิลลิโมลาร์ กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 1 มิลลิโมลาร์ อนุภาคที่พบมีลักษณะคล้ายทรงกลม มีหลายขนาด



รูปที่ 4.1 ลักษณะอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 1:10 มิลลิโมลาร์ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

จากการทดลองพบว่า สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนด้วยการผสมสารพอลิเอทิลีนไกลด์ที่มีประจุลบกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตได้ โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมสารพอลิเอทิลีนไกลด์และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่โดยปกติจะไม่มีสี แต่ภายหลังการผสมสามารถเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ โดยสารละลายผสมนั้นจะเกิดสี สีที่เกิดขึ้นเป็นลักษณะเฉพาะตัวขึ้นกับชนิดของพอลิเอทิลีนไกลด์ที่ใช้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารละลายผสมที่สามารถให้สีได้คือ สารละลายที่มี PMA, Copolymer, Alginate และ PSS ทั้งนี้จะสังเกตเห็นว่าสารพอลิเอทิลีนไกลด์ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตแล้วเกิดอนุภาคเงินนาโนขึ้นได้ จะเป็นกลุ่มสารพอลิเอทิลีนไกลด์ที่มีประจุเป็นลบ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เมื่อ

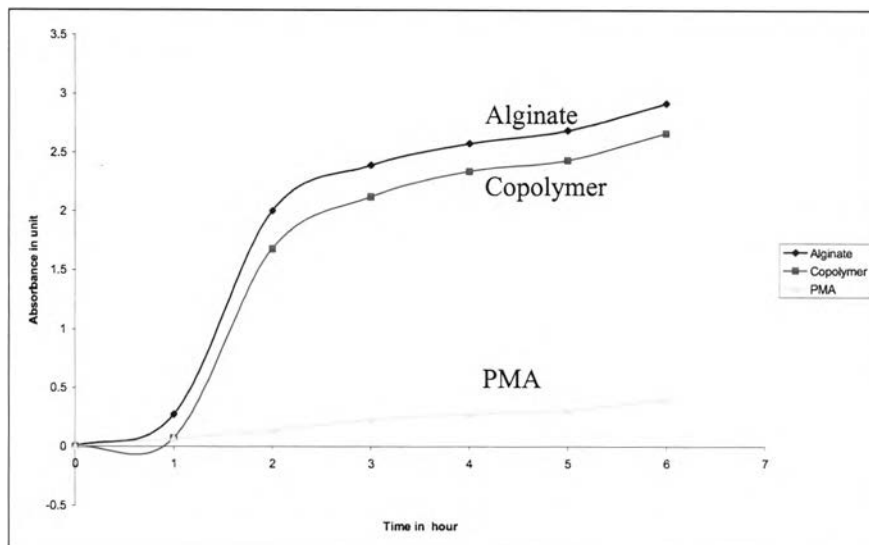
ละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวออกเป็นอออนบวกของเงิน และในเตรต ลอยอยู่ในน้ำ อออนบวกของเงินนี้จะเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้ากับพอลิเล็กโทรไลต์ชนิดที่เป็นประจุลบภายหลังการผสมสารละลายทั้งสอง พอลิเล็กโทรไลต์จะห่อหุ้มอออนบวกของเงินไว้⁸¹ เมื่อให้แสงแก่สารละลายผสม แสงจะทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ที่ทำให้เกิดอิเล็กตรอนจากสภาพแวดล้อมในสารละลาย หรือทำให้เกิดอนุมูลอิสระจากสภาพแวดล้อมที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ โดยอิเล็กตรอนนี้จะไปรีดิวซ์อออนบวกของเงินที่ดึงดูดอยู่กับสายพอลิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบให้กลายเป็นอออนศูนย์ของเงิน หรืออนุภาคเงินนาโน ขณะที่พอลิเล็กโทรไลต์ก็ยังคงห่อหุ้มอนุภาคเงินนาโนไว้ เพื่อคงความเสถียรให้กับอนุภาคเงินนาโน ให้มีขนาดคงเดิม สำหรับอออนบวกของเงินที่อยู่ในสภาวะที่มีพอลิเล็กโทรไลต์ชนิดประจุบวก จะไม่กลายเป็นอนุภาคเงินนาโน แต่จะเกิดเงินที่มีขนาดใหญ่อยู่ในสารละลาย เนื่องจากไม่มีพอลิเล็กโทรไลต์ห่อหุ้ม จึงไม่มีตัวที่จะทำให้เงินเกิดความเสถียรทางขนาด เงินจึงมีขนาดใหญ่ หลายรูปทรง บางครั้งมีลักษณะเป็นแผ่น และเกิดการรวมตัวกันมากขึ้นตามเวลา นอกจากการเกิดสีแล้วการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนที่เหมาะสม ควรจะเป็นสารละลายที่มีไม่มีตะกอน ซึ่งแสดงถึงการมีอนุภาคเงินนาโนที่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน จากการทดลองพบว่าสารละลายผสมที่มี PSS ให้ผลการพิจารณาที่ไม่ชัดเจน จึงไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษา ดังนั้นสารละลายพอลิเล็กโทรไลต์ที่มีความเหมาะสม มีความชัดเจนในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในกรณีนี้ ได้แก่ PMA, Copolymer และ Alginate

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่ามีอนุภาคเงินนาโนอยู่ในสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer ดังนั้นแสดงว่า Copolymer สามารถเกิดปฏิกิริยาร่วมกับสารละลายซิลเวอร์ในเตรต แล้วเกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนตามระบบได้จริง

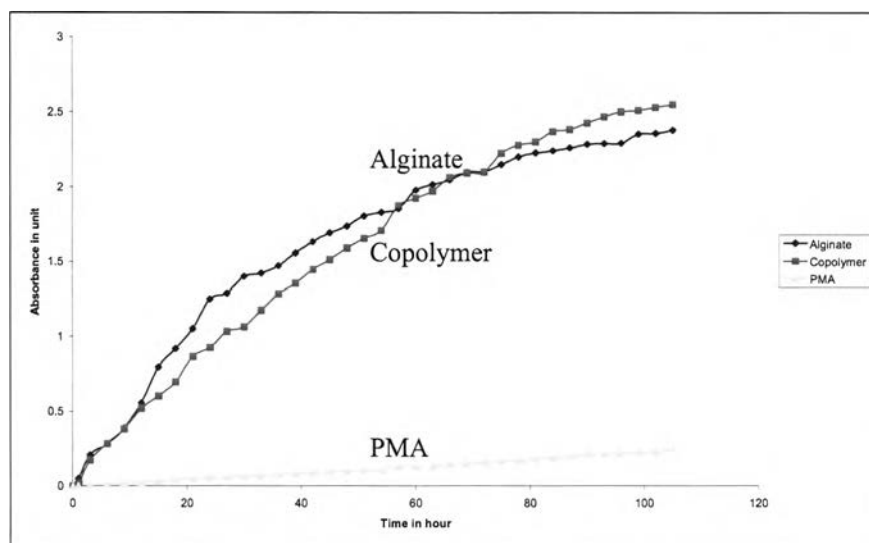
4.2 ขั้นตอนศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

4.2.1 ผลการทดลองศึกษาปัจจัยจากแสงชนิดต่างๆ ที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

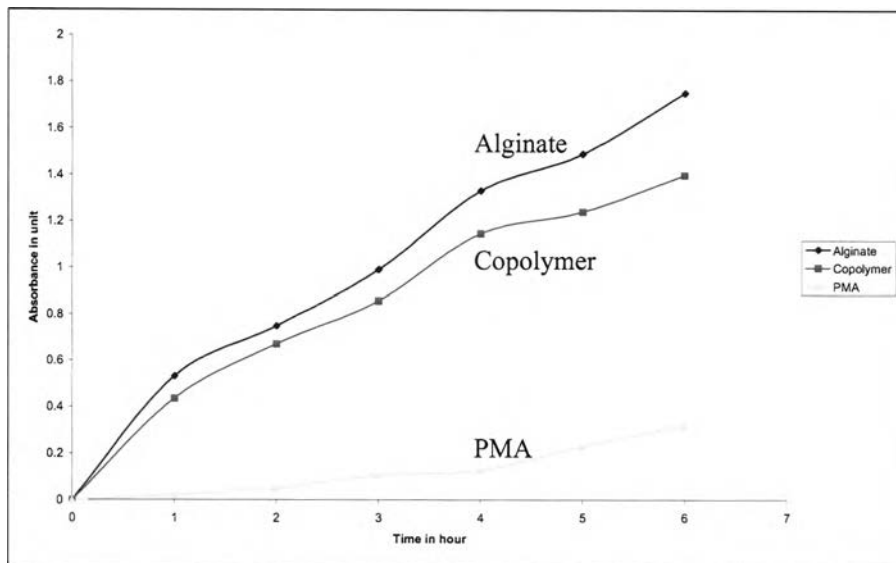
ผลการทดลองสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนโดยใช้แสงชนิดต่างๆ พบว่ามีผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนเพิ่มตามเวลา เมื่อเทียบกับเวลาส่วนใหญ่ สารละลายที่สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็วใกล้เคียงกัน และเกิดอนุภาคเงินนาโนมาก คือ สารละลายชนิดที่มี Alginate และสารละลายชนิดที่มี Copolymer ซึ่งสารละลายชนิดที่มี Alginate จะสามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็วกว่า Copolymer เล็กน้อย ดังรูปที่ 4.2, 4.3, 4.4 และรูปที่ 4.6 แต่สำหรับกรณีที่ใช้แสงจากหลอดนีออน และเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ สารละลายชนิดที่มี Alginate จะสามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็วกว่า Copolymer ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 สำหรับสารละลายชนิดที่มี PMA จะสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ช้าที่สุด



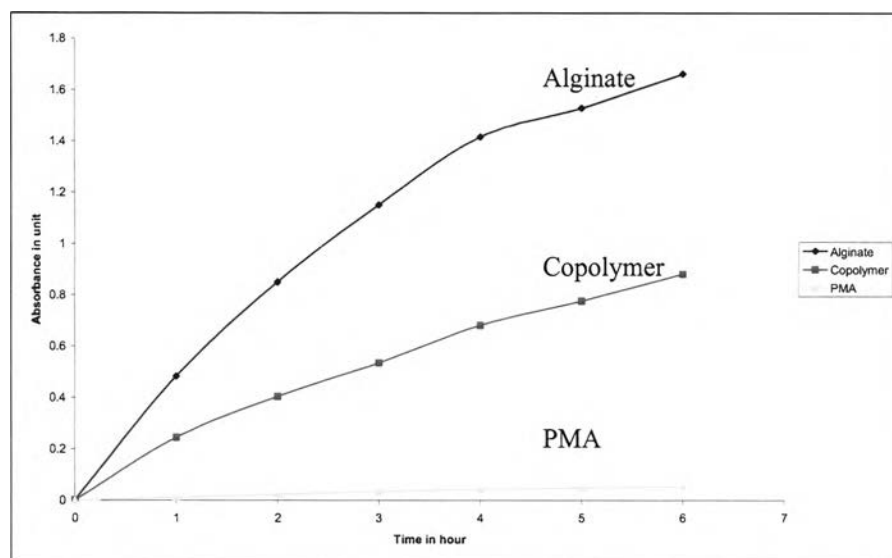
รูปที่ 4.2 ผลของแสงอาทิตย์ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิเอ็กโทโรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ในเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7



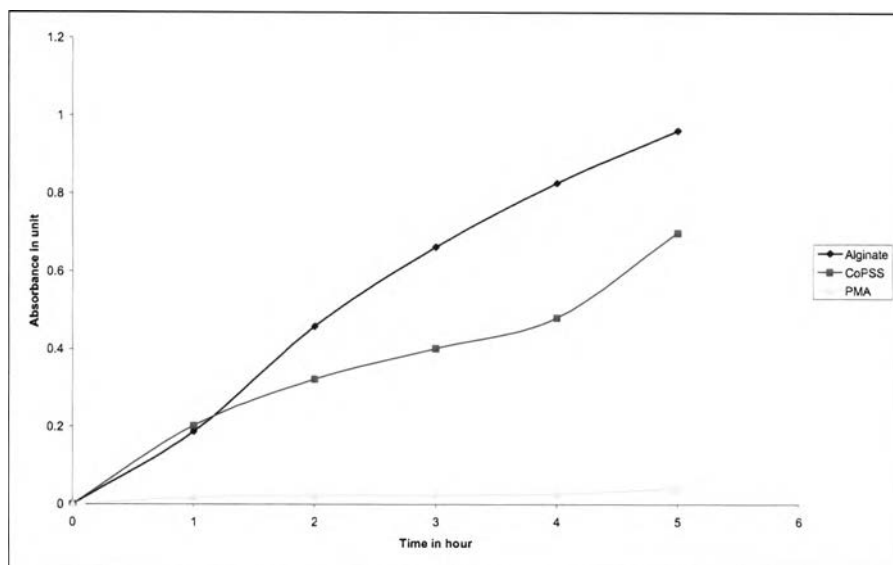
รูปที่ 4.3 ผลของแสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิเอ็กโทโรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ในเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7



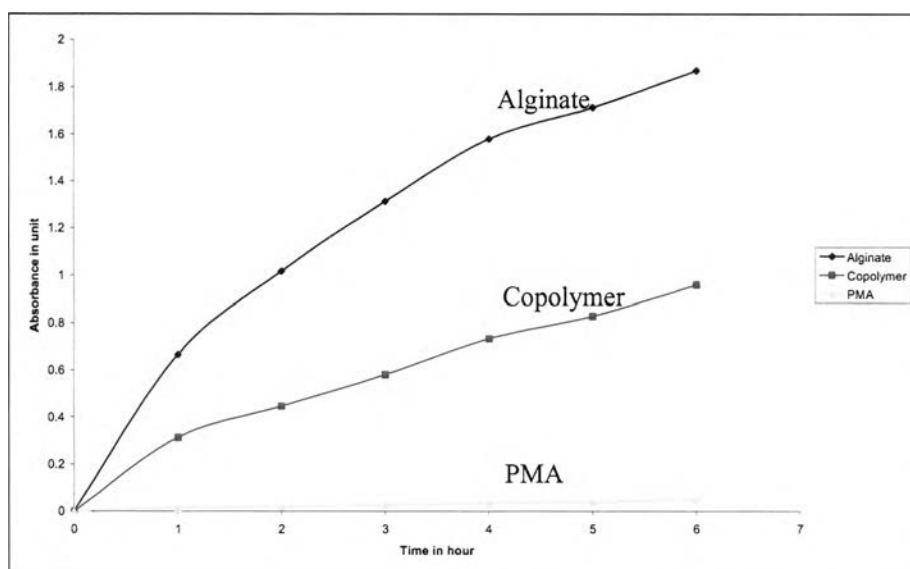
รูปที่ 4.4 ผลของแสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7



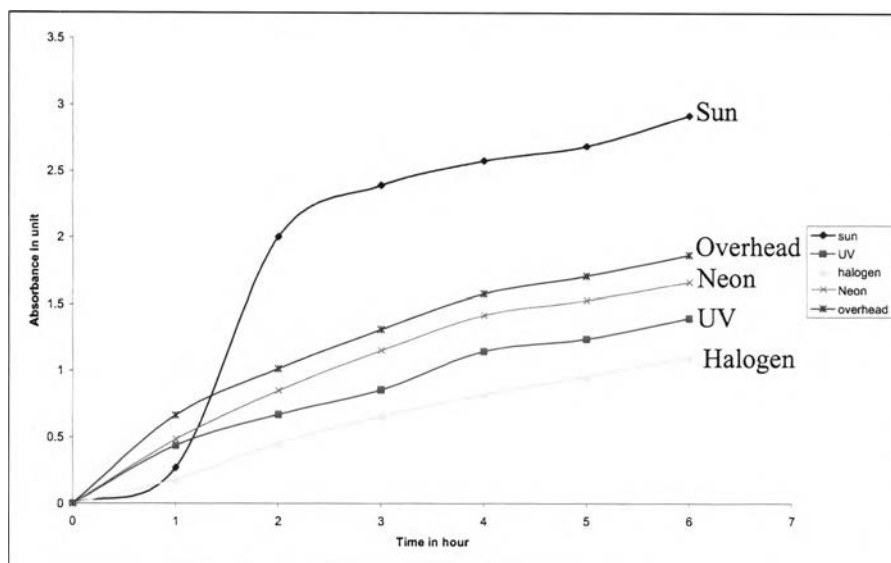
รูปที่ 4.5 ผลของแสงจากหลอดไฟนีออน 8 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่ Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7



รูปที่ 4.6 ผลของแสงจากหลอดไฟฮาโลเจน 50 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ในอัตรา 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7



รูปที่ 4.7 ผลของแสงจากเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ 250 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สารละลายชนิดที่มี Copolymer และสารละลายชนิดที่มี PMA โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ในอัตรา 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7

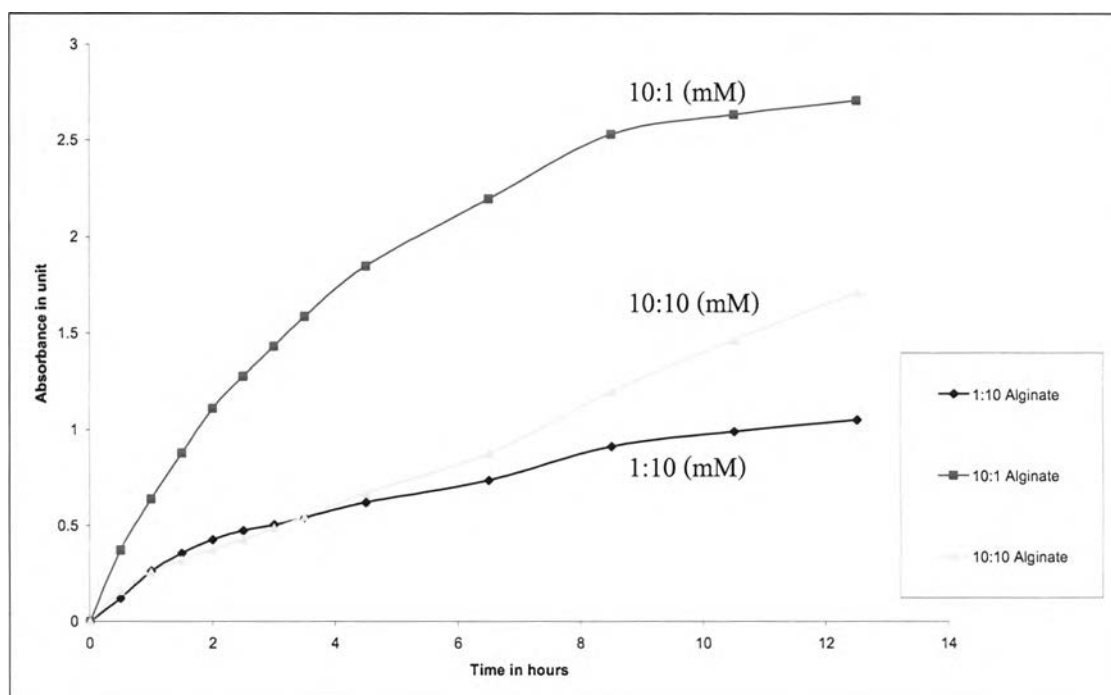


รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลของแสงจากหลอดฮาโลเจน 50 วัตต์ เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ 250 วัตต์ หลอดไฟนีออน 8 วัตต์ แสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดยูวี 4 วัตต์ ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของ Alginate ต่อสารละลายซิลเวอร์ในเตรด 10:10 มิลลิโมลาร์ มีค่า pH 7

เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีไอออนบวกเงินมาเกาะอยู่ตรงตำแหน่งที่เป็นประจุลบของสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์มากขึ้นตามเวลา พอได้รับแสงที่มีพลังงานมากเพียงพอที่จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดอิเล็กตรอนจากสภาพแวดล้อมในสารละลาย หรือเกิดอนุมูลอิสระที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ โดยอิเล็กตรอนเหล่านี้จะไปรีดิวซ์ไอออนบวกเงิน(Ag^+) ที่ติดกับสายโซ่พอลิเมอร์นั้น ให้กลายเป็นไอออนเงินที่เป็นศูนย์(Ag^0) หรืออนุภาคเงินนาโน^[1] การมีไอออนเงินมาเกาะมากก็ทำให้มีโอกาสที่จะกลายเป็นอนุภาคเงินนาโนมาก ความเร็วในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในแต่ละสารละลายแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ผสมอยู่ที่ทำให้ความเร็วในการสังเคราะห์มีลักษณะเฉพาะตัว จากรูปที่ 4.8 พบว่าความเร็วของการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน เรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้ คือ แสงอาทิตย์ แสงจากเครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ(250วัตต์) แสงจากหลอดไฟนีออน(8 วัตต์) แสงจากหลอดยูวี(4 วัตต์) แสงจากหลอดฮาโลเจน(50 วัตต์) และหลอดไฟชนิดมีไส้ (60 วัตต์) ตามลำดับ และจากการทดลองพบว่าแสงที่มีพลังงานสูง และมีกำลังทางไฟฟ้าสูงจะทำให้การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากแสงที่มีพลังงานสูง และกำลังไฟฟ้าสูงสามารถไปเหนี่ยวนำสภาพแวดล้อมในสารละลายด้วยปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ ได้ง่าย และเร็วกว่า คือ ไปเหนี่ยวนำให้เกิดอิเล็กตรอนหรือใช้พลังงานไปแยกอนุภาคของน้ำออกให้กลายเป็นอะตอมไฮโดรเจน^[1] ที่สามารถไปรีดิวซ์ไอออนบวกของเงินได้ ทำให้เกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนอย่างรวดเร็ว และมีจำนวนมาก

สำหรับกรณีของแสงจากหลอดฮาโลเจนที่มีกำลังไฟสูงกว่าหลอดนีออน และหลอดยูวี แต่ทำให้เกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ช้ากว่า ก็เนื่องจากหลอดฮาโลเจนเป็นหลอดที่ไม่มีสเปกตรัมของแสงช่วงรังสียูวี(ขณะที่แสงจากหลอดที่ให้แสงในช่วงรังสียูวี จะทำให้เกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนเร็ว) จึงทำให้แสงจากหลอดฮาโลเจนมีพลังงานต่ำกว่า จึงทำให้การรีดิวซ์อนุภาคเงินนาโนช้ากว่า ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับกรณีของแสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์ ที่สังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ช้าที่สุด แม้ว่าจะมีกำลังไฟสูง 60 วัตต์ แต่ก็มีพลังงานต่ำกว่าแสงจากหลอดชนิดอื่น เพราะไม่มีแสงช่วงรังสียูวีเช่นกัน สังเกตจากแสงจากหลอดเหล่านี้จะมีสีเหลือง แสดงว่าอยู่ในช่วงวิสิเบิลซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าช่วงรังสียูวี นอกจากนี้แสงจากหลอดไฟชนิดมีไส้ 60 วัตต์ จะมีความสว่างลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่อใช้ไปนานๆ หลอดจะดำ

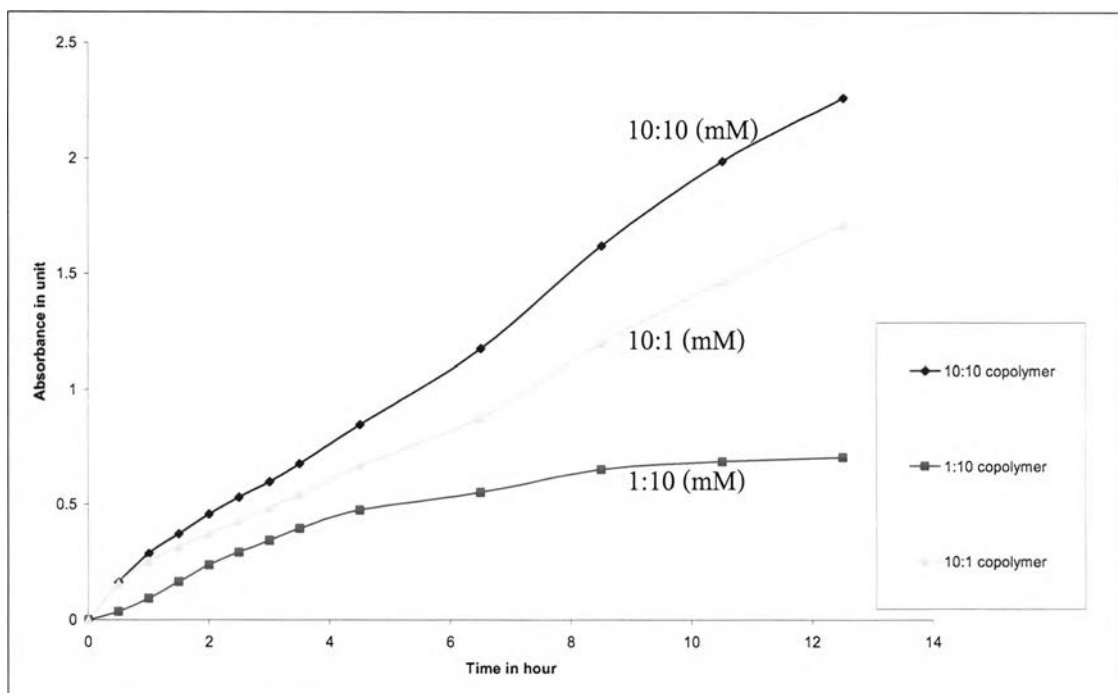
4.2.3 ผลการศึกษาปัจจัยการปรับเปลี่ยนสัดส่วนความเข้มข้น



รูปที่ 4.9 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างสารละลาย Alginate และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7



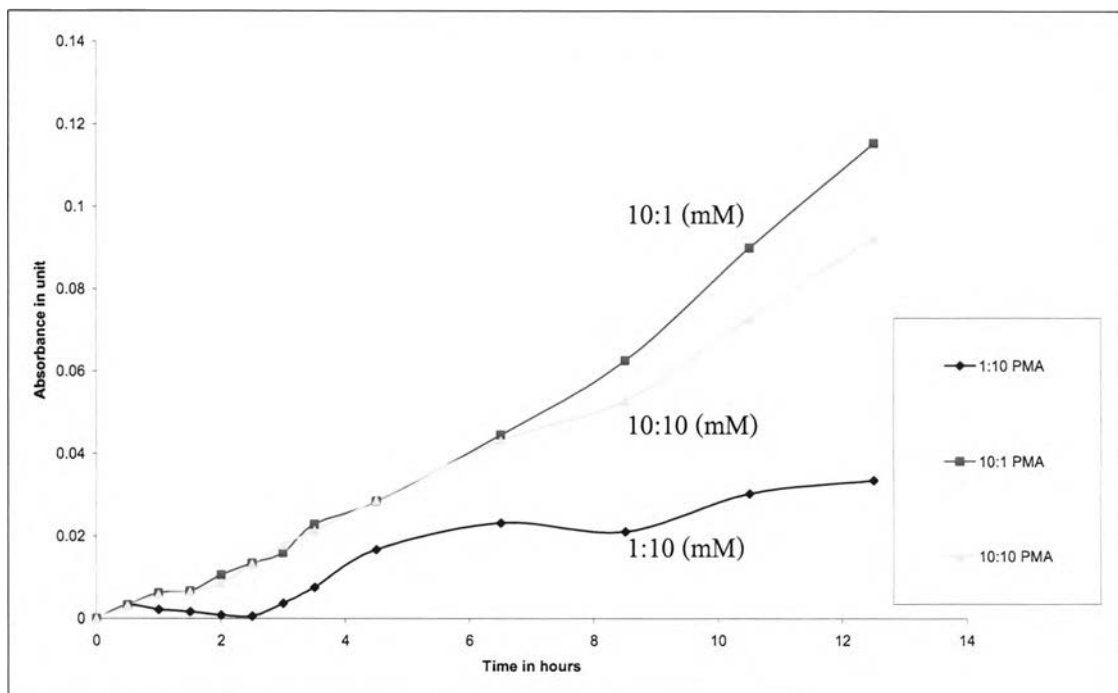
รูปที่ 4.10 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate (pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี



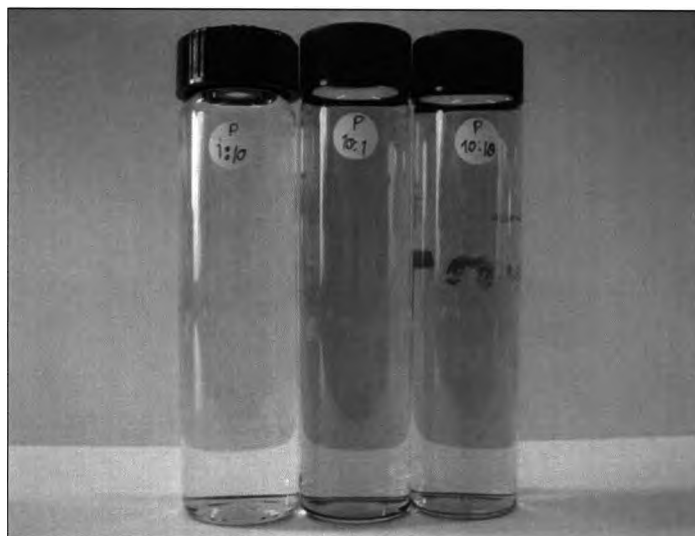
รูปที่ 4.11 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่างสารละลาย Copolymer และ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรดต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7



รูปที่ 4.12 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer(pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี



รูปที่ 4.13 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมระหว่าง PMA และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ที่ค่า pH 7



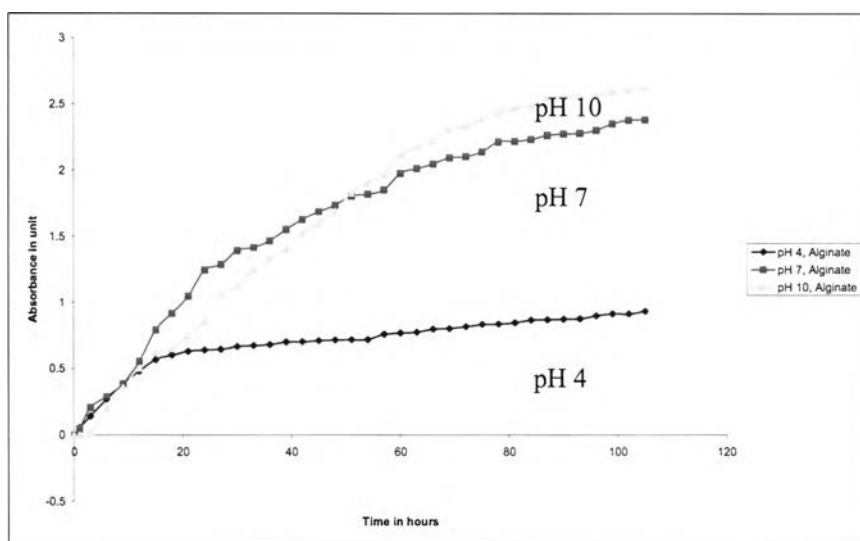
รูปที่ 4.14 แสดงผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA (pH 7) ต่อการเปลี่ยนสี

จากรูปที่ 4.9, 4.11 และ 4.13 พบว่าการปรับเปลี่ยนสัดส่วนความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน คือ มีผลต่อความเร็วในการสังเคราะห์ และจำนวนของอนุภาคเงินนาโนที่เกิดขึ้น สารละลายที่มีสัดส่วนของพอลิอิเล็กโทรไลต์มากกว่าสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด จะทำให้เกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็ว และมากกว่าสารละลายผสมที่มีพอลิอิเล็กโทรไลต์น้อย เนื่องจากการมีพอลิอิเล็กโทรไลต์มาก ทำให้มีตำแหน่งของประจุลบมาก อีออนบวกของเงินมีโอกาสมาดึงดูดกันกับประจุลบของพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้มาก ส่วนกรณีที่มีสัดส่วนความเข้มข้นเท่ากัน คือ 10:10 มิลลิโมลาร์ มีอัตราการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ช้ากว่าสารละลายที่สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 มิลลิโมลาร์ อาจเนื่องมาจากอีออนบวกของเงินดึงดูดกับอีออนลบบนสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์ได้ยากกว่า เพราะมีจำนวนอีออนบวกของเงินอยู่มาก และหนาแน่น จึงทำให้อีออนบวกของเงินเคลื่อนที่เข้าดึงดูดกับสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์ได้ช้า หรืออาจเกิดจากการที่มีอีออนบวกของเงินจำนวนมากพยายามแข่งขันกันเข้าไปจับกับอีออนลบบนสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์ จึงทำให้เกิดความล่าช้า เมื่อเทียบกับสารละลายผสมที่มีปริมาณของซิลเวอร์ไนเตรดน้อยกว่าพอลิอิเล็กโทรไลต์ คือ อีออนบวกของเงินมีความสะดวกในการเคลื่อนที่เข้าไปจับ หรือดึงดูดกับสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์ได้โดยตรง จึงทำให้การเข้าไปจับกับอีออนลบบนสายโซ่พอลิอิเล็กโทรไลต์ได้เร็ว และพร้อมที่จะกลายเป็นอนุภาคเงินนาโนตามกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ทันที เมื่อได้รับแสง

จากรูปที่ 4.10, 4.12 และ 4.14 แสดงถึงการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมซึ่งสอดคล้องกับความเร็วในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน โดยสารละลายผสมที่มีความสามารถในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็ว จะมีสีเข้มกว่าสารละลายผสมที่สังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้ช้า เนื่องจากการ

สังเคราะห์ที่เร็วจะมีความเข้มข้นของอนุภาคเงินมาก ประกอบกับการมีจำนวนพอลิอิเล็กโทรไลต์มา ห่อหุ้มอนุภาคเงินนาโนแน่นหนาขึ้นตามเวลา เมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นตามขวาง มีความยาวคลื่นหลายค่า และมีพลังงานขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นนั้นส่องมาที่สารละลายผสม อิเล็กตรอนที่อยู่บนผิวของโลหะเงิน จะรับพลังงานจากแสงที่มีความยาวคลื่นนั้น เมื่อดูดกลืนแสงแล้วอิเล็กตรอนจะเกิดการสั่น (surface plasmon resonance) และปลดปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นค่าหนึ่งซึ่งอิเล็กตรอนไม่สามารถดูดกลืนได้ ออกมา เมื่อแสงนั้นเข้าตาจึงทำให้มองเห็นเป็นสีตามความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนไม่สามารถดูดกลืนได้ นั้น^[20] สารละลายที่สามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนได้เร็ว มีอนุภาคเงินนาโนจำนวนมาก การหักเห และการสะท้อนเข้าตาของแสงเปลี่ยนแปลงไป จึงมีสีที่เข้มกว่าสารละลายที่สังเคราะห์ได้ช้า เปรียบได้ กับหมึกสีน้ำเงินที่ละลายน้ำอย่างเจือจางจะเห็นเป็นสีฟ้า ถ้ามีความเข้มข้นของหมึกมากก็จะทำให้เห็น เป็นสีน้ำเงินที่เข้มขึ้นเรื่อยๆ

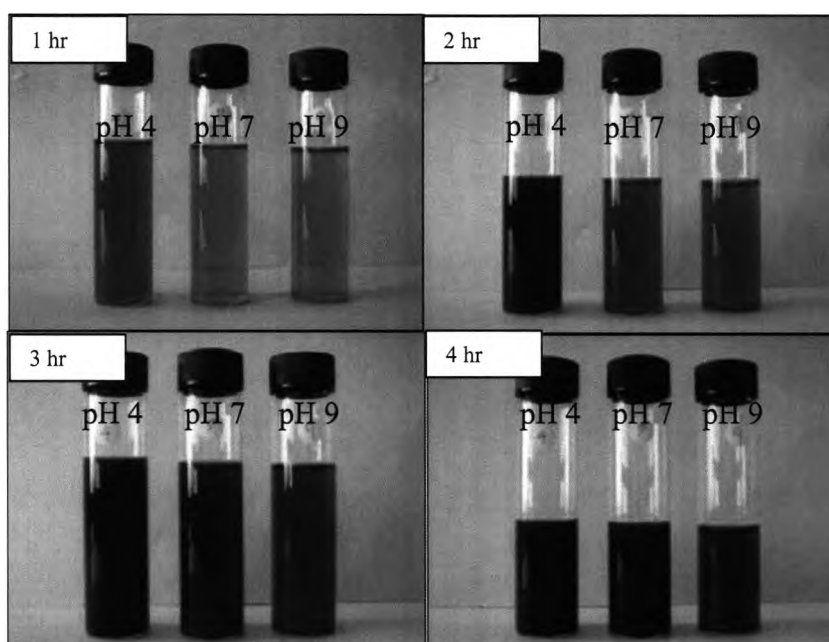
4.2.4 ผลการศึกษาปัจจัยการปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดต่าง และผลของเวลาต่อขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.15 ผลของการปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายผสมระหว่าง Alginate และ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด สัดส่วนความเข้มข้น ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงซึ่งก็คือ pH 7 และ pH 10 จะมีผลให้ สารละลายผสมซิลเวอร์ไนเตรดและสารละลาย Alginate เกิดการสังเคราะห์ได้เร็ว และเกิดปริมาณของ อนุภาคเงินนาโนมากกว่าสารละลายผสมที่ค่าความเป็นกรดต่างต่ำ ซึ่งก็คือที่ pH 4 เนื่องจากใน โครงสร้างของ Alginate ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอกซิลิกที่มีประจุลบอยู่(COO⁻) เมื่อได้รับการ ปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรดต่างที่ pH 4 ซึ่งหมายความว่า จะมีปริมาณของไฮโดรเนียมบวกจำนวนมาก ไฮโดรเนียมจึงเกิดการดึงดูดอยู่กับ COO⁻ แล้วกลายเป็น COOH ซึ่งมีความเป็นกลาง เมื่อเติมสารละลาย

ซิลเวอร์ไนเตรด ก็ทำให้อิออนบวกของเงิน (Ag^+) จากสารละลาย เกิดการแลกเปลี่ยนโปรตอนกันกับ H กลายเป็น $COOAg$ และเมื่อเกิดการรีดิวซ์ด้วยอิเล็กตรอนจากสภาพแวดล้อมที่ได้รับแสง ก็จะกลายเป็น อิออนศูนย์ของเงิน หรืออนุภาคเงินนาโนอยู่ตรงตำแหน่งที่ Ag^+ เกิดแรงดึงดูดอยู่กับ COO^- ส่วนในกรณี ของ COO^- ที่เหลืออยู่บ้างเล็กน้อยในสารละลายจะเกิดการดึงดูดกับ Ag^+ ได้โดยตรง แล้วเกิดเป็น $COOAg$ ที่พร้อมที่จะเกิดการรีดิวซ์ได้ทันทีที่มีแสง เนื่องจากในสารละลายที่ pH 4 มีจำนวนของ COO^- เหลืออยู่น้อยเพราะส่วนใหญ่ได้กลายเป็นกลาง($COOH$)ไปแล้ว^[3] จึงทำให้การสังเคราะห์อนุภาคเงิน นาโนเกิดความล่าช้า เมื่อเทียบกับสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่างสูงๆ คือ ที่ pH 7 และ pH 10 ซึ่งจะมีไฮโดรเนียมอยู่น้อย จึงมี COO^- เหลืออยู่ในสารละลาย Alginate มาก จึงทำให้อิออนบวกของเงินจาก สารละลายซิลเวอร์ไนเตรดที่จะมาจับมากกว่า และเร็วกว่า ส่งผลให้ภายหลังการรีดิวซ์เกิดอนุภาคเงิน นาโนมากกว่า และเร็วกว่า ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 โดยจะเห็นว่าเส้นโค้งการดูดกลืนแสงของ สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่าง pH 7 และ pH 10 ใกล้เคียงกัน แต่ที่ pH 4 การสังเคราะห์อนุภาคเงิน นาโนจะช้ากว่า และมีปริมาณน้อยกว่ามากอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.16 ผลการเปลี่ยนสีของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate(10:10 มิลลิโมลาร์) ที่มีค่า pH 4, 7 และ 9 ต่อเวลา

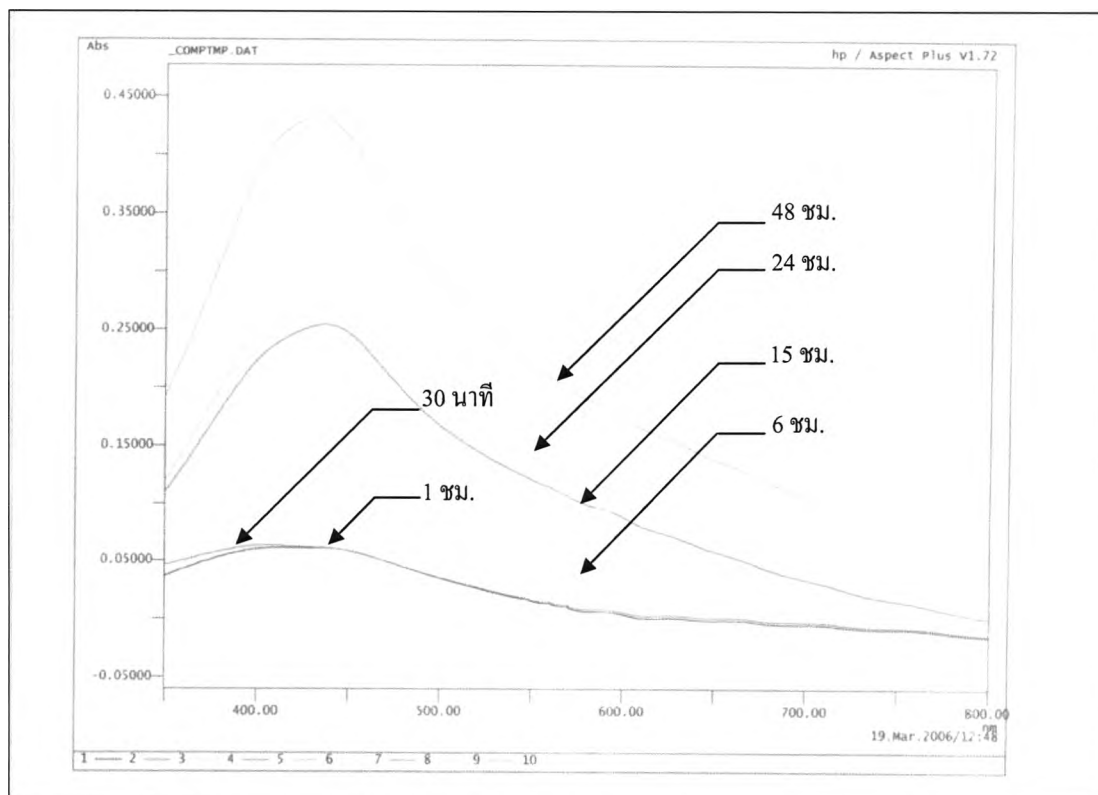
รูปที่ 4.16 แสดงสีของสารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่างต่างกัน ซึ่งเกิดจากลักษณะเฉพาะในการดูดกลืนแสงของอนุภาค พอลิอิเล็กโทรไลต์ และจำนวนอิออนบวกของเงินที่เหลือ การเปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นตามเวลามีเหตุผลเป็นไปตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.2.3

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ต่อขนาดอนุภาคเงินนาโน(ในสารละลายผสมระหว่าง Alginate และพอลิอิเล็กโทรไลต์ สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ค่า pH 7)

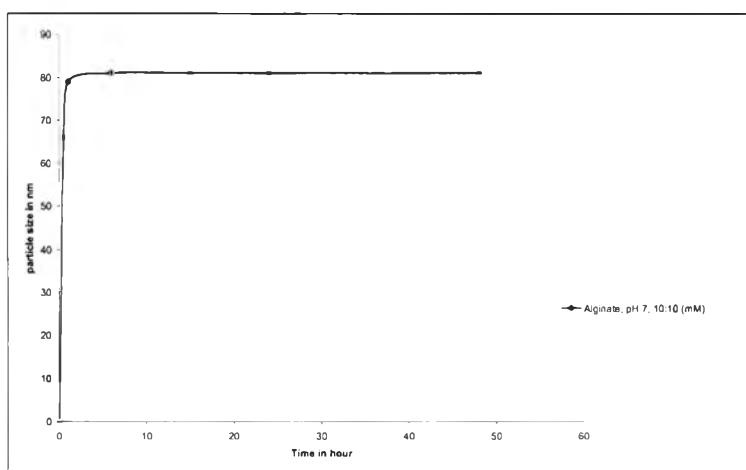
Alginate, 10:10 (mM), pH 7, halogen	ขนาดอนุภาค (nm)
0.5 hr	66
1 hr	79
6 hr	81
15 hr	81
24 hr	81
48 hr	81

จากตารางที่ 4.3 พบว่าขนาดอนุภาคเงินนาโนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามเวลาที่ได้รับแสงจนกระทั่งเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ขึ้นไป ขนาดของอนุภาคเงินนาโนจะเริ่มคงที่ ขนาดที่เพิ่มขึ้นในช่วงแรกบ่งบอกให้ทราบว่า อนุภาคเงินนาโนโตขึ้นเล็กน้อย เป็นผลมาจากการที่พอลิอิเล็กโทรไลต์คือ Alginate ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารให้ความเสถียรแก่อนุภาคเงินนาโน ยังไม่สามารถห่อหุ้มอนุภาคเงินนาโนที่เกิดขึ้นในช่วงแรกได้ทั้งหมด จึงยังคงมีช่องว่างที่ทำให้อนุภาคเงินนาโนโตขึ้นได้เล็กน้อย^[8] แต่เมื่อเวลาผ่านไป Alginate ได้เข้าห่อหุ้มอนุภาคเงินนาโนไว้ได้ทั้งหมด และไปจำกัด หรือป้องกันการโตขึ้นของอนุภาคเงินนาโน ขนาดของอนุภาคจึงคงที่ ดังนั้น Alginate จัดเป็นสารให้ความเสถียรที่สามารถให้ความเสถียรแก่อนุภาคเงินนาโนได้ค่อนข้างดี

เมื่อนำสารละลายทุกสถานะมาวัดเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี จะได้ผลดังรูปที่ 4.17 โดยแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี ซึ่งพบว่าเส้นโค้งที่เวลา 30 นาที และเวลา 1 ชั่วโมง มีการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกันมาก แต่ส่วนที่สูงที่สุดของเส้นโค้งอยู่ในตำแหน่งต่างกัน คือส่วนที่สูงที่สุดของเส้นโค้งเวลา 30 นาที อยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 407 นาโนเมตร และเส้นโค้งเวลา 1 ชั่วโมง อยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 430 นาโนเมตร ขณะที่เส้นโค้ง 6 ชั่วโมง 15 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง อยู่ในตำแหน่งประมาณ 431 นาโนเมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งใกล้เคียงกับที่ 1 ชั่วโมง แต่มีปริมาณการดูดกลืนแสงแตกต่างกัน และเมื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟจะได้ลักษณะการโตของอนุภาคดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปีของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ มี pH 7 เวลา 30 นาที, 1, 6, 15, 24 และ 48 ชั่วโมง



รูปที่ 4.18 ผลของเวลาต่อขนาดอนุภาคเงินนาโนในสารละลายชนิดที่มี Alginate มี pH 7 ที่ได้รับแสงเป็นเวลา 30 นาที, 1, 6, 15, 24 และ 48 ชั่วโมง

จากรูปพบว่าเวลาที่เส้นโค้งเวลา 30 นาที และ 1 ชั่วโมง มีการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากเวลาในการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนใกล้เคียงกันเมื่อเทียบกับเวลาอื่น และมีตำแหน่งต่างกัน โดยเมื่อเวลามากขึ้น ตำแหน่งของเส้นโค้งเลื่อนไปทางขวา คือที่ความยาวคลื่นสูงกว่า แสดงว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอนุภาคเงินนาโนโตขึ้นเล็กน้อย^{[12][21]} เพราะ Alginate ในสารละลายยังห่อหุ้มอนุภาคเงินได้ไม่ทัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดขนาดอนุภาคโดยที่เวลา 30 นาที อนุภาคเงินมีขนาด 66 นาโนเมตร และที่เวลา 1 ชั่วโมง อนุภาคมีขนาด 79 นาโนเมตร และการที่เส้นโค้งตั้งแต่ 6 ชั่วโมงขึ้นไป จนถึง 48 ชั่วโมง อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน มีเส้นโค้งคล้ายกัน เนื่องมาจากพอลิอิเล็กโทรไลต์ได้ห่อหุ้มอนุภาคเงินนาโนเพื่อความเสถียร ขนาดอนุภาคเงินนาโนจึงเท่ากัน คือ 81 นาโนเมตร ต่างจากเส้นโค้งที่เวลา 1 ชั่วโมง เล็กน้อย และการเส้นโค้งที่ตำแหน่งเดียวกัน แต่การดูดกลืนแสงต่างกัน ก็เนื่องมาจากการมีอนุภาคเงินนาโนมากขึ้นตามเวลา

4.3 ผลการหาขนาดอนุภาคเงินนาโน

4.3.1 ผลการทดลองหาสารละลายผสมที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.4-4.5 พบว่าสารละลายผสมที่เหมาะสม ได้แก่ สารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 mM มี pH 4 และสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 มิลลิโมลาร์ มี pH 7 เพราะเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นสารละลายก็ยังคงความใส และสามารถคงสีเดิมไว้ได้นาน คือ สีม่วงอมแดงใส และสีเหลืองใส ตามลำดับ ส่วนสารละลายสภาวะอื่นไม่เหมาะสม เพราะเกิดการเปลี่ยนสีตามเวลา และมีตะกอนขุ่นเกิดขึ้น และไม่เหมาะสมกับการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน ส่วนสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วน 1:10 มิลลิโมลาร์ ไม่เกิดการเปลี่ยนสี แสดงว่าไม่เกิดการสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโน

ตารางที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 4 ตามเวลา

พอลิอิเล็กโทรไลต์ (mM)	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 4					
	15 นาที	30 นาที	2 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	1 วัน	7 วัน
Alginate						
1:10	เทาใส	เทา	เทา	เขียวขุ่น	เขียวขุ่น	เขียวขุ่นมาก
10:1	เหลืองอม	เหลืองอม	เทา	เขียวขุ่น	เขียวขุ่น	เขียวขุ่นมาก
	เทาใส	เทา				
10:10	ส้มใส	เขียวอมเทา	เขียว	เขียวขุ่น	เขียวขุ่น	เขียวขุ่นมาก

Copolymer	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 4					
	1:10	ม่วงใส	ม่วงอมเทา	เทา	เขียวจืด	เขียวจืด
10:1	ส้มใส	ส้ม	ส้ม	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
10:10	ส้มอมแดงใส	แดงอมเทา	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
PMA						
1:10	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน
10:1	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	เหลืองอ่อน	เหลือง	เหลืองมีตะกอน	เหลืองมีตะกอน
10:10	ชมพูอ่อนใส	ม่วงใส	ม่วงอมแดงอ่อน, ใส	ม่วงอมแดงใส	ม่วงอมแดงใส	ม่วงอมแดงใส

*ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ตารางที่ 4.5 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 7 ตามเวลา

พอลิเล็กโทรไลต์ (mM)	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 7					
	15 นาที	30 นาที	2 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	1 วัน	7 วัน
Alginate						
1:10	เหลืองใส	เทา	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
10:1	ชมพูใส	เทา	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
10:10	ส้มใส	เทาอมแดง	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
Copolymer						
1:10	เหลืองใส	เหลือง	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืด	เขียวจืดมาก
10:1	ส้มอ่อนใส	ส้มใส	ส้มใส	เหลืองใส	เหลืองใส	เหลืองใส
10:10	ส้มใส	แดง	แดงอมเทา	เขียว	เขียวจืด	เขียวจืดมาก

PMA	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 7					
	ชมพูอ่อน ใส	เหลือง	ส้ม	แดง	แดง	แดง
1:10						
10:1	เหลืองใส	เหลืองอ่อน	ส้ม	ส้มอมแดง	ส้มอม แดง	แดงมีตะกอน
10:10	ชมพูอ่อน ใส	ส้มอมเทา	แดง	แดงเข้ม	แดงเข้ม มาก	แดงเข้มมี ตะกอน

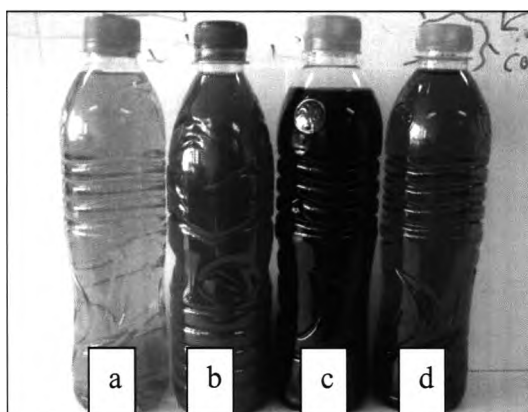
*ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ตารางที่ 4.6 ผลการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 9 ตามเวลา

พอลิอิเล็กโทรไลต์ ต่อซิลเวอร์ไนเตรต (mM)	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 9					
	15 นาที	30 นาที	2 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	1 วัน	7 วัน
Alginate						
1:10	เหลืองใส	เหลืองอม เขียว	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก
10:1	ชมพูอ่อน ใส	เขียว	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก
10:10	ส้มใส	แดงอม เทา	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก
Copolymer						
1:10	เหลืองใส	เหลืองอม เขียว	เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก
10:1	ส้มใส	ส้ม	ส้มอม เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก
10:10	ส้มใส	แดง	แดงอม เขียว	เขียวเข้ม	เขียวเข้ม	เขียวเข้มมาก

PMA	ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมที่มี pH 9					
1:10	เหลืองอ่อนใส	เหลือง	ส้ม	แดง	แดงเข้ม	แดงเข้มมีตะกอน
10:1	ส้มอ่อนใส	ส้มอ่อน	ส้ม	ส้มอมแดง	แดง	แดงเข้มมีตะกอน
10:10	ชมพูอ่อนใส	ส้ม	แดง	แดงเข้ม	แดงเข้ม มาก	แดงเข้มมาก

สารละลายผสมที่มีความเหมาะสมมี 2 ชนิด คือ สารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง pH 7 และสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง pH 4 ดังตารางที่ 4.4 - 4.5 สารละลายผสมที่มีความเหมาะสมจะสามารถรักษาความใส และคงสีเดิมที่เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ไว้ได้ แม้เวลาจะเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 4.19 เนื่องมาจากอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมมีขนาดค่อนข้างคงที่ และไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มเติมในสารละลายผสม อันจะมีผลให้ลักษณะทางกายภาพของสารละลายผสมเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการรวมตัวกันหรือแยกออกจากกันของอนุภาคเงินนาโน จะทำให้อนุภาคมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปแล้วเป็นสาเหตุให้การดูดกลืนแสงเปลี่ยน ส่งผลให้ลักษณะของสารละลายผสมเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.19 สีของสารละลายผสมระหว่างพอลิอิลเล็กโทรไลต์และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่มีสถานะดังนี้ a) Copolymer, 10:1 มิลลิโมลาร์, pH 7. b) Alginate, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 7. c) PMA, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 4, 10 ชั่วโมง d) PMA, 10:10 มิลลิโมลาร์, pH 4, 2 ชั่วโมง

เพื่อให้เห็นความแตกต่างจึงเลือกสถานะสารละลายที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ มาทดสอบหาขนาดอนุภาคในขั้นตอนนี้ไปด้วย เพราะมีความน่าสนใจที่สีของสารละลายไม่เปลี่ยนไปเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว โดยมีลักษณะขุ่นขึ้น แต่ไม่เกิดการตกตะกอน

4.3.2 ผลการทดลองหาขนาดอนุภาคเงินนาโน

จากรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นผลของการวัดขนาดอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสม 3 ชนิด คือ สารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ มี pH 7 (เป็นสารละลายที่ไม่โปร่งใส ซึ่งถูกนำมาเปรียบเทียบกับสารละลายที่โปร่งใส) ชนิดที่สองคือสารละลายผสมชนิดที่มีความเหมาะสม Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:1 มิลลิโมลาร์ มี pH 7 และชนิดที่สามคือ สารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ มี pH 4 ซึ่งได้แบ่งสารละลายชนิดนี้อีกเป็น 2 ชุด คือ สารละลายที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า สารละลายทั้ง 3 ชนิดมีขนาดอนุภาคเงินนาโนใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าพอลิอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถสร้างความเสถียรให้แก่อนุภาคเงินนาโนได้ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคเงินนาโนจากสารละลายชนิดที่มี PMA และได้รับแสงอาทิตย์นาน 2 ชั่วโมง กับ 10 ชั่วโมง นั้น พบว่า สารละลายผสมชนิดที่ได้รับแสงเป็นเวลานานกว่ามีขนาดอนุภาคเงินนาโนใหญ่กว่าเล็กน้อย คือ 81 นาโนเมตร ซึ่งแสดงว่าเวลาที่มีผลต่อการโตขึ้นของขนาดอนุภาคเล็กน้อย การที่อนุภาคเงินนาโนโตขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลจากตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นกรณีของสารละลายชนิดที่มี Alginate

ตารางที่ 4.7 ผลของการวัดขนาดอนุภาคเงินนาโนในสารละลายใสที่คัดเลือก จากข้อ 4.3.1 โดยเปรียบเทียบกับสารละลายที่มีลักษณะขุ่นแต่ไม่ตกตะกอน (Alginate)

สถานะสารละลาย	ขนาดอนุภาคเงินนาโน
Alginate - 10:10 (mM) - pH 7	เฉลี่ย 81 nm การกระจายขนาด 61-120 nm
Copolymer - 10:1 (mM) - pH 7	เฉลี่ย 83 nm การกระจายขนาด 61-126 nm
PMA (รับแสง 2 hr) - 10:10 (mM) - pH 4	เฉลี่ย 79 nm การกระจายขนาด 53-126 nm
PMA (รับแสง 10 hr) - 10:10 (mM) - pH 4	เฉลี่ย 81 nm การกระจายขนาด 61-130 nm

แม้ว่าสารละลายชนิดที่มี Alginate มีความข้น และคาดว่าอนุภาคที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ แต่ปรากฏว่าเมื่อวัดขนาดกลับพบว่า มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับสารละลายสถานะที่เลือกซึ่งมีความใส แสดงว่าความใสกับความข้น(แต่ไม่มีตะกอน) ไม่ได้บ่งบอกความแตกต่างของขนาดอนุภาค ไม่จำเป็นว่าสารละลายข้นจะมีอนุภาคเงินนาโนใหญ่กว่าเสมอไป แต่การที่สารละลายข้น กลับบ่งบอกว่าสารละลายมีความเข้มข้นของอนุภาคเงินนาโนมากกว่าจึงทำให้ข้นขึ้น

4.4 ผลการหาความสามารถในการแยกอนุภาคเงินนาโนโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์

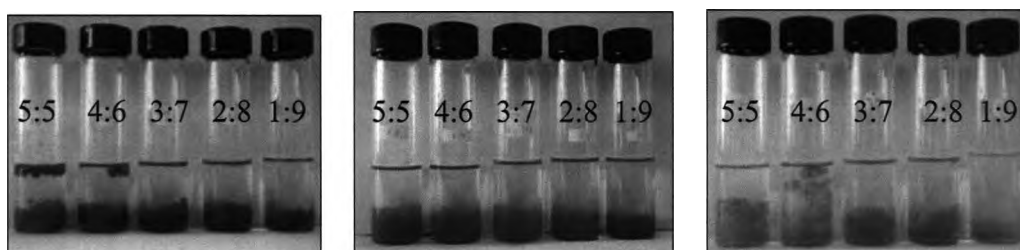
4.4.1 ผลการทดลองหาสถานะที่สามารถเกิดการตกตะกอน

จากรูปที่ 4.20-4.28 พบว่าสามารถเกิดการตกตะกอนของอนุภาคเงินนาโนได้ในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate และ PMA เท่านั้น ส่วนอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer ไม่สามารถเกิดการตกตะกอนได้ภายหลังการเติมตัวทำละลายอินทรีย์

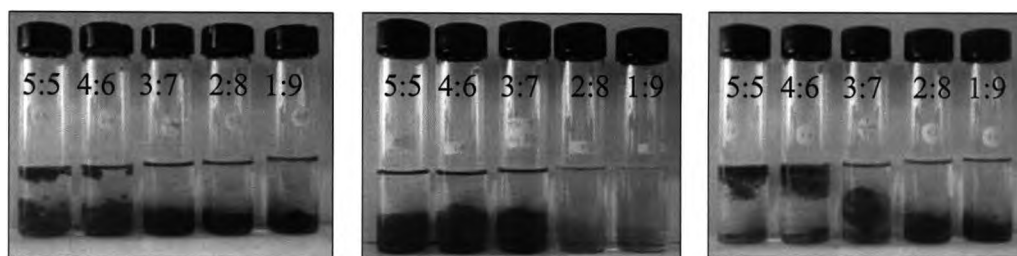
จากรูป 4.20-4.22 แสดงให้เห็นว่ากรณีของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate อนุภาคเงินนาโนในสารละลายสามารถเกิดการตกตะกอนได้ดีใน Acetone และ Ethanol แต่ละลายได้บ้างใน Iso-propanol นอกจากนี้อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมกลุ่มที่มี pH 4 สามารถตกตะกอนได้ดีใน Ethanol ขณะที่อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมกลุ่มที่มี pH 10 สามารถตกตะกอนได้ดีใน Acetone

จากรูป 4.23-4.25 แสดงให้เห็นว่ากรณีของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer อนุภาคเงินนาโนในสารละลายไม่สามารถเกิดการตกตะกอนได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด แต่อาจเกิดการตกตะกอนได้บ้างเล็กน้อยในกรณีของอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมกลุ่ม pH 7 ที่เติม Acetone และ Iso-propanol ในสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับสารละลายผสม คือ ตั้งแต่ 9 เท่าขึ้นไป

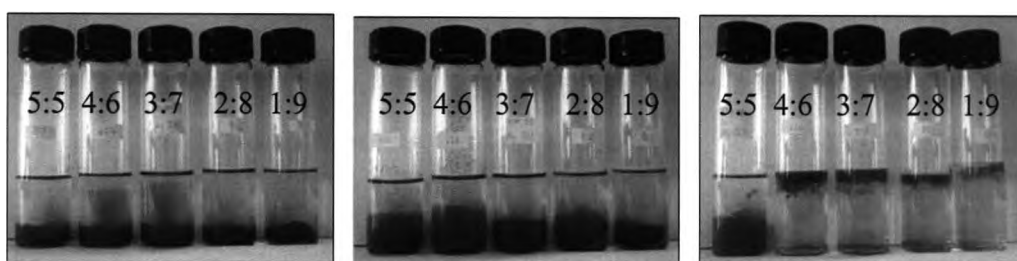
จากรูป แสดงให้เห็นว่ากรณีของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA อนุภาคเงินนาโนในสารละลายสามารถเกิดการตกตะกอนได้ดีใน Acetone และ Ethanol แต่ละลายได้ไม่ค่อยดีมากนักใน Iso-propanol เพราะแสดงให้เห็นว่ายังคงมี PMA ลอยอยู่ระหว่างส่วนที่ตกตะกอนด้านล่าง และในสารละลายด้านบน



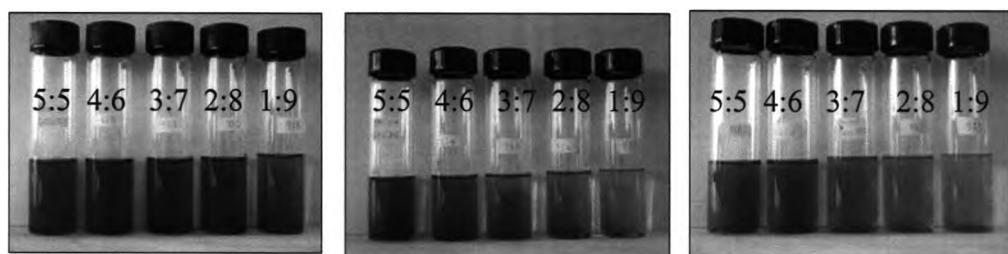
รูปที่ 4.20 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิวเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ในอัตรา 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.21 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



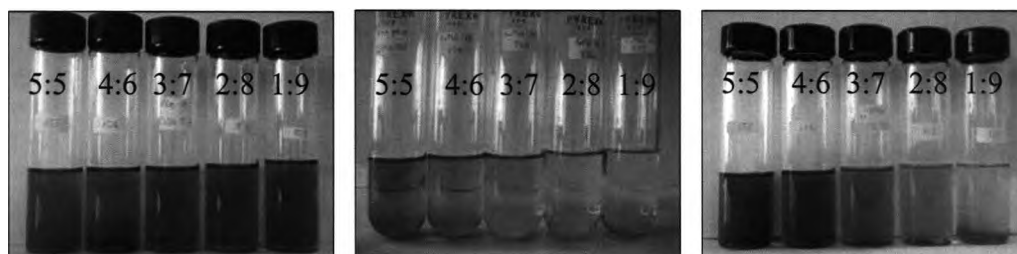
รูปที่ 4.22 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.23 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.24 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



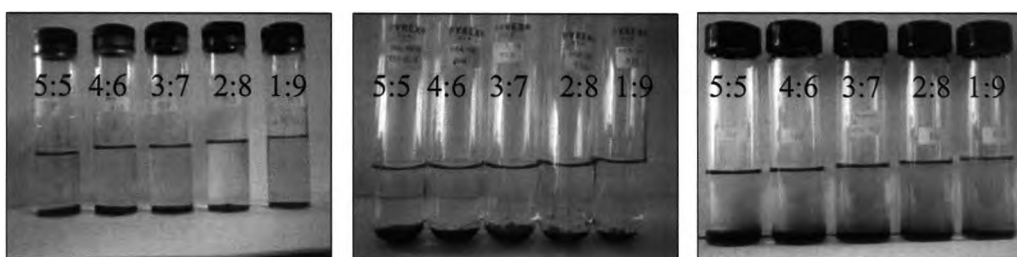
รูปที่ 4.25 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี Copolymer สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.26 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 4 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.27 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์



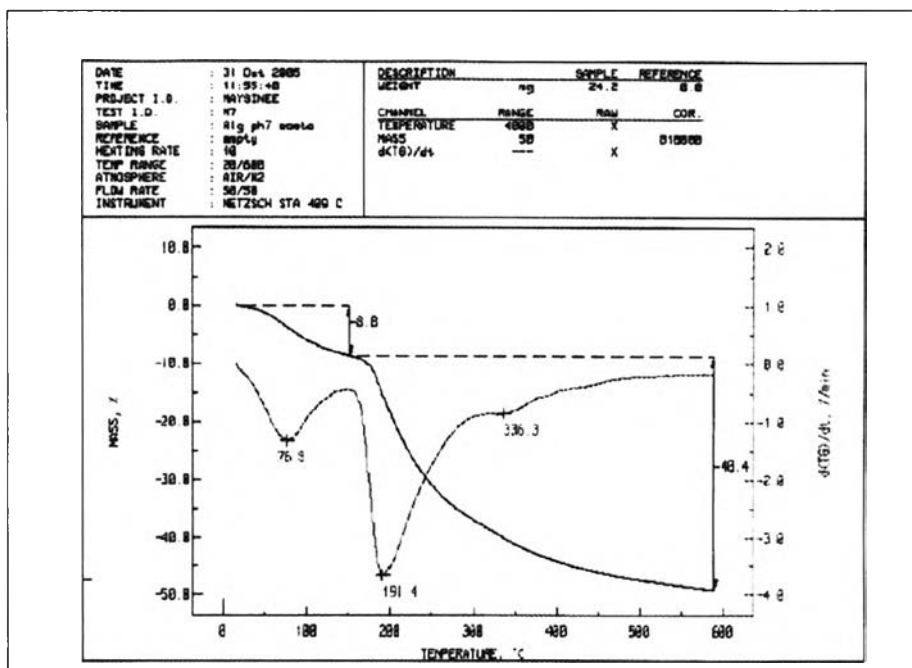
รูปที่ 4.28 ลักษณะของสารละลายผสมชนิดที่มี PMA สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 10 ภายหลังจากการเติมตัวทำละลายอินทรีย์เรียงจากซ้ายไปขวา คือ Acetone, Ethanol และ Iso-propanol ตามลำดับ ด้วยสัดส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ต่อสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 5:5, 4:6, 3:7, 2:8 และ 1:9 มิลลิโมลาร์

จากการทดลองหาความสามารถในการตกตะกอน ของอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมระหว่างพอลิอิเล็กโทรไลต์ 3 ชนิด คือ Alginate, Copolymer และ PMA กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ และมีค่าความเป็นกรดต่างดังนี้ คือ pH 4, pH 7 และ pH 10 พบว่าอนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate และ PMA เท่านั้น ที่สามารถเกิดการตกตะกอนได้อย่างชัดเจนในตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากพอลิอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองชนิดมีความเป็นประจุ ดังนั้นจึงจัดว่าเป็นสารละลายชนิดที่มีขั้ว จึงทำให้ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่จัดเป็นสารไม่มีขั้ว เมื่อพอลิอิเล็กโทรไลต์ไม่สามารถละลายได้ ประกอบกับมีน้ำหนักมาก จึงเกิดการตกตะกอนลงมา โดยดึงอนุภาคเงินนาโนซึ่งอยู่ในพอลิอิเล็กโทรไลต์ให้ตกตะกอนลงมาด้วย ส่วนอนุภาคเงินนาโนในกรณีของสารละลายชนิดที่มี Copolymer ไม่สามารถเกิดการตกตะกอน หรือแยกออกมาได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจากโครงสร้างของ Copolymer ประกอบไปด้วย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มประจุที่เป็นซัลเฟตซึ่งเกาะอยู่กับวงเบนซีนที่ไม่มีขั้ว และกลุ่มประจุที่เป็นคาร์บอกซิลิก เมื่อเกิด

การสังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนในสารละลายผสมนี้ อีออนบวกของเงินจะมาจับที่กลุ่มคาร์บอกซิลิกมากกว่าที่กลุ่มซัลเฟต ที่มีความแตกต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (ความสามารถที่อะตอมจะดึงดูดอิเล็กตรอนเข้ามาหาอะตอมนั้น)^[20] กับกลุ่มอีออนบวกของเงินน้อยกว่ากลุ่มคาร์บอกซิลิก จึงเหลือส่วนที่เป็นซัลเฟตกับวงเบนซีน จึงทำให้ Copolymer ในขณะนั้นประพฤติตัวแบบไม่มีขั้ว เมื่อเทียบกับพอลิอิเล็กโตรไลต์ชนิดอื่น จึงสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่มีขั้วได้ จึงไม่เกิดการตกตะกอนลงมา และไม่สามารถแยกอนุภาคเงินนาโนออกจากสารละลายผสมได้ การที่อนุภาคเงินนาโนตกตะกอนได้ดี หรือไม่ดี ขึ้นอยู่กับความสามารถของพอลิอิเล็กโตรไลต์แต่ละชนิด ว่าสามารถที่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์นั้นๆ ได้ดีหรือไม่ดี

4.4.2 ผลการทดลองหาสารพอลิอิเล็กโตรไลต์ในตะกอน

จากรูปที่ 4.29 พบว่าเส้นโค้ง TGA มีการลดลงอยู่ 3 ช่วง ช่วงแรกเส้นโค้งลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิประมาณ 76.8 องศาเซลเซียส โดยมีการสูญเสียน้ำหนักประมาณ 8.8 เปอร์เซ็นต์ ช่วงที่ 2 เส้นโค้งลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิประมาณ 191.4 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 3 เส้นโค้งลดลงต่ำสุดที่อุณหภูมิประมาณ 336.3 องศาเซลเซียส จากนั้นเส้นโค้งจะเริ่มคงที่ โดยมีการสูญเสียน้ำหนักของสารในช่วงที่ 2 และช่วงที่ 3 ประมาณ 40.4 เปอร์เซ็นต์ การสูญเสียน้ำหนักรวมโดยประมาณคือ 50 เปอร์เซ็นต์ และคงเหลือน้ำหนักอีกประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.29 ผลการตรวจสอบการหายไปของน้ำหนักของผงตะกอนที่แยกจากสารละลายผสมชนิดที่มี Alginate สัดส่วนความเข้มข้น 10:10 มิลลิโมลาร์ ที่ pH 7 ซึ่งผ่านการเติม Acetone

จากการผลการทดลองพบว่ามีกรดลดลงของเส้นโค้ง 3 ช่วง ซึ่งบ่งบอกว่าการสูญเสียน้ำหนักของสารไป 3 ชนิด จากการวิเคราะห์อุณหภูมิทั้ง 3 ช่วง พบว่าช่วงแรกที่อุณหภูมิประมาณ 76.8 องศาเซลเซียส เริ่มมีการระเหย หรือสลายตัวของตัวทำละลายอินทรีย์คือ Acetone และน้ำที่คงค้างอยู่ในผงตะกอน ส่วนช่วงที่สอง คือ อุณหภูมิประมาณ 191.4 องศาเซลเซียส เกิดการสลายตัวของไนเตรดที่มาจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดซึ่งผสมอยู่ในตอนแรก ช่วงที่สาม คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 336.3 องศาเซลเซียส จะเริ่มเกิดการสลายตัวของ Alginate เมื่อเส้นโค้งเริ่มคงที่ที่อุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส แสดงว่า Alginate สลายตัวไปหมดแล้ว และเหลือแต่อนุภาคเงินที่มีจุดสลายตัวที่อุณหภูมิสูงมาก จึงไม่ปรากฏเส้นโค้งการลดลงในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ดังนั้นจากการทดลอง แสดงว่ามีพอลิอิเล็กโทรไลต์เหลืออยู่ในผงตะกอน ที่แยกออกจากสารละลายผสมระหว่างพอลิอิเล็กโทรไลต์กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด