

## บทที่ 4

### วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาเพื่อติดตามการกระจายตัวของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนในสารละลาย SDS โดยแบ่งการทดลองเป็นห้าส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการเตรียมผงอูมิโนและเคลือบ ส่วนที่สองเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนและเคลือบ ได้แก่ ค่าความขุ่น ค่าความหนืด และค่า pH ส่วนที่สามเป็นการศึกษาการกระจายตัวของอูมิโนในน้ำ ส่วนที่สี่เป็นการศึกษาการกระจายตัวของอูมิโนในสารละลาย SDS และส่วนที่ห้าเป็นการศึกษาการกระจายตัวของเคลือบในสารละลาย SDS

ในการศึกษาการกระจายตัวของสารละลายคอลลอยด์ในสารละลาย SDS โดยวิธีวัดค่าความขุ่นนั้น เนื่องจากค่าความขุ่นและค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อกัน คือ ในกรณีของสารละลายที่ดูดกลืนแสงนั้น สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายได้โดยใช้เครื่องมือทางสเปกโทรสโกปี ซึ่งจะวัดความเข้มของแสงหลังจากผ่านสารละลาย ค่าความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืน ( $I_1$ ) จะมีค่าเท่ากับ  $I_0 - I$  เมื่อ  $I_0$  เป็นความเข้มของแสงเริ่มต้น และ  $I$  เป็นความเข้มของแสงหลังจากผ่านสารละลาย สำหรับในกรณีของสารละลายคอลลอยด์ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่กว่าสารละลายอนุภาคจะมีการดูดกลืนแสงลดลง แต่จะเกิดการกระเจิงแสงมากขึ้น โดยค่าความเข้มของการกระเจิงแสง ( $I_1$ ) จะมีค่าเท่ากับ  $I_0 - I$  เมื่อ  $I_0$  เป็นความเข้มของแสงเริ่มต้น และ  $I$  เป็นความเข้มของแสงหลังจากผ่านสารละลายคอลลอยด์ เช่นเดียวกับการวัดค่าการดูดกลืนแสง และ  $I_1/I_0$  จะมีความสัมพันธ์กับค่าความขุ่น ดังนั้นจึงสามารถวัดค่าความขุ่นด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ การวัดค่าความขุ่นสามารถแสดงถึงการกระจายตัวของอนุภาคของสารละลายคอลลอยด์ได้ คือ สารละลายคอลลอยด์ที่มีการกระจายตัวของอนุภาคได้ดี เมื่อนำไปวัดค่าการความขุ่นโดยวิธีสเปกโทรเมตรี จะได้ค่าความขุ่นมากกว่าสารละลายคอลลอยด์ที่กระจายตัวได้ไม่ดี ดังนั้นค่าความขุ่นจึงสามารถที่จะบอกถึงความเสถียรของสารละลายคอลลอยด์ได้ นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น ซึ่งถ้าการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อย แสดงว่าที่เวลาต่างๆ ค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์มีเปลี่ยนแปลงค่าน้อย นั่นคือการกระจายตัวของอนุภาคจะเกิดได้ดี ซึ่งก็น่าจะบ่งบอกถึงความเสถียรของสารละลายคอลลอยด์ได้ ในทางกลับกัน ถ้าการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่ามาก แสดงว่าที่เวลาต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมาก อนุภาคเกิดการจมตัวลงได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นพอจะสรุปได้ว่า ถ้าการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่ามาก จะแสดงถึงความไม่เสถียรของสาร

ละลายคอลลอยด์ แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อย ก็แสดงว่า สารละลายคอลลอยด์นั้นมีความเสถียร

การติดตามการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในสารละลาย SDS ในครั้งนี้ จะช่วยให้เข้าใจถึง พฤติกรรมการกระจายตัวของอนุภาคนาโนในน้ำ และเพื่อให้ทราบอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว สภาพกรด-เบส รวมทั้งอิเล็กโทรไลต์ ที่มีผลต่อค่าความขุ่นของสารละลาย คอลลอยด์อนุภาคนาโน ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ปรับปรุงความเสถียรของน้ำเคลือบ เพื่อประโยชน์ ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

#### 4.1 การเตรียมผงอนุภาคนาโนและเคลือบ

สำหรับการเตรียมผงอนุภาคนาโนและเคลือบด้วยการบดในน้ำนั้น การบดอนุภาคนาโนทำโดยใช้ เครื่องบดไฟฟ้า โดยใช้อัตราส่วนของอนุภาคนาโนต่อน้ำในการบด 300 g : 600 g เป็นเวลา 8 hr ส่วนการ บดเคลือบทำโดยใช้เครื่องบดแบบหม้อบด (pot mill) โดยใช้อัตราส่วนของเคลือบต่อน้ำในการบด 1500 g : 1400 g เป็น เวลา 36 hr เมื่อนำอนุภาคนาโนและเคลือบหลังจากบดแล้ว ไปวัดการแจกแจง ขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง Laser - particle sizer (Fritsch analysette 22) ได้ผลการทดลองดังรูป 3.1 และรูป 3.2 จะพบว่า อนุภาคนาโนและเคลือบมีขนาดอนุภาค โดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.26  $\mu\text{m}$  และ 4.18  $\mu\text{m}$  ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (1-10  $\mu\text{m}$ ) แม้ว่า จะใช้ระยะเวลาในการบดแตกต่างกัน ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสาเหตุหลายประการดังนี้ ประการแรก เกิดจากความแตกต่างของอัตราส่วนของวัตถุดิบต่อน้ำที่ใช้ในการบด เนื่องจากอนุภาคนาโนสามารถดูด ชับน้ำได้มากกว่าเคลือบ ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราส่วนของอนุภาคนาโนหรือเคลือบต่อน้ำให้เท่ากัน ได้ ประการที่สองอาจเกิดจากสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบ เนื่องจากอนุภาคนาโนเป็นสารเพียงชนิด เดียว แต่เคลือบจะเป็นสารผสมของวัตถุดิบหลายอย่างซึ่งมีความแข็งแรงต่างกัน ประการที่สามเกิด จากเครื่องมือที่ใช้ในการบดที่ใช้ต่างกัน ซึ่งการเลือกให้เหมาะสมกับปริมาณของวัตถุดิบที่ทำการบด ซึ่งเหตุผลทั้ง 3 ประการนี้ ล้วนแต่มีผลทำให้ขนาดของอนุภาคของอนุภาคนาโนและเคลือบมีขนาดใกล้เคียงกันทั้งๆที่ใช้ระยะเวลาในการบดต่างกัน

#### 4.2 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนและเคลือบ

ในการติดตามการกระจายตัวของอนุภาคนาโนและเคลือบ จะต้องทราบสมบัติทางกายภาพของ ทั้งอนุภาคนาโนและเคลือบ เช่น ค่าความขุ่น ค่าความหนืด และ pH ของสารละลายคอลลอยด์ ซึ่งการ ศึกษาสมบัติทางกายภาพโดยวิธีวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ ด้วยวิธีทางสเปกโทรสโกปี โดยใช้เครื่อง spectrometer (Milton Roy Spectronic 21) จะต้องเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับ

ช่วงความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่จะศึกษา และเนื่องจากมีการศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคนาโนและเคลือบในสารละลาย SDS ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนจากการการดูดกลืนของ SDS ที่จะมีผลต่อการวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ที่เตรียมในสารละลาย SDS จึงได้มีการหาความยาวคลื่นที่จะใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย SDS โดยให้ SDS พอร์มสีกับโรห์คามินยี

#### 4.2.1 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนนา

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อูมิโนนาความเข้มข้น 0.025% - 0.50%w/v ไปวัดค่าความขุ่นในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (Hitashi U-2000) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนนาที่ความยาวคลื่นต่างๆ และหาค่า  $R^2$  ได้ผลการทดลองดังรูป 3.3 - 3.9 และตาราง 3.1 จะพบว่า สารละลายคอลลอยด์อูมิโนนาแต่ละความเข้มข้นที่ความยาวคลื่นต่างๆ จะมีค่าความขุ่นแตกต่างกันไป และเมื่อค่าความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์มากขึ้นค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ก็มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่จะนำไปศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคในสารละลายคอลลอยด์โดยวิธีวัดค่าความขุ่นนั้น จะต้องมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความขุ่น ดังสมการ  $A = Ebc$  เมื่อ  $A$  คือค่าการดูดกลืนแสง  $E$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง  $b$  คือ ระยะทางที่แสงผ่านเซลล์ และ  $c$  คือ ความเข้มข้นของสารละลาย นั่นคือเมื่อนำค่าความขุ่นมาพล็อตกับความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ควรจะให้ความสัมพันธ์ที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่ให้ความเป็นเส้นตรงดีที่สุดจะอยู่ในช่วง 0.025%-0.30%w/v ถ้าใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ความเป็นเส้นตรงจะมีค่าลดลง นอกจากนี้ที่ความยาวคลื่นต่างๆกันก็จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์กับค่าความขุ่นแตกต่างกันไปด้วย เมื่อพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ อูมิโนนา ในช่วงความเข้มข้น 0.025%-0.30%w/v จะให้ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงที่ดีในช่วงความยาวคลื่น 430-470 nm คือ มีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.9966-0.9983 ซึ่งความยาวคลื่นที่ให้ความเป็นเส้นตรงดีที่สุดคือ 450 nm

#### 4.2.2 การหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบ

จากการนำสารละลายคอลลอยด์เคลือบความเข้มข้น 0.050% - 0.20%w/v ไปวัดค่าความขุ่นในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (Hitashi U-2000) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบที่ความยาวคลื่นต่างๆ และหาค่า  $R^2$  ได้ผลการทดลองดังรูป 3.10 -3.13 และตาราง 3.2 สำหรับการพิจารณาเพื่อหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมของสารละลายคอลลอยด์เคลือบ

จะพิจารณาเช่นเดียวกับสารละลายคอลลอยด์อูมิโน และจะพบว่า เมื่อพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนจะให้ความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงที่ดีในช่วงความยาวคลื่น 450-500 nm คือ มีค่า  $R^2$  อยู่ในช่วง 0.9785-0.9872 ซึ่งความยาวคลื่นที่ให้ความเป็นเส้นตรงดีที่สุดคือ 500 nm

#### 4.2.3 การหาความคลืนของการดูดกลืนแสงของสารละลาย SDS ที่น้อยที่สุด

จากการนำสารละลาย 3mM - 13mM SDS ในสารละลาย  $2.0 \times 10^{-5}$  M โรห์คามีเนบี ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 nm ด้วยเครื่อง UV-VIS spectrophotometer (Hitashi U-2000) โดยใช้สารละลายโรห์คามีเนบี ความเข้มข้น  $2.0 \times 10^{-5}$  M เป็นสารอ้างอิง ได้ผลการทดลองดังรูป 3.14 -3.17 จะพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลาย SDS ในช่วงก่อน หลัง และที่ความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ ค่าการดูดกลืนของสารละลาย SDS จะมีค่าต่ำสุดที่ความยาวคลื่น 450 nm

จากการหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อูมิโน และเคลือบ และความคลืนของการดูดกลืนแสงของสารละลาย SDS ที่น้อยที่สุด จึงได้เลือกความยาวคลื่นที่ 450 nm เป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่สุด ที่ใช้ในการวัดค่าความขุ่นของ สารละลายคอลลอยด์อูมิโนและเคลือบ เนื่องเป็นความยาวคลื่นที่ไม่มีการรบกวนจากการดูดกลืนแสงของสารละลาย SDS และเป็นความยาวคลื่นที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์เป็นเส้นตรงที่สามารถยอมรับได้

#### 4.2.4 การหาสมบัติทางกายภาพของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนและเคลือบ

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อูมิโน ความเข้มข้น 0.10% - 0.30%w/v ไปวัดค่า pH ของสารละลายด้วย pH meter (Precisa pH 900) และวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง spectrometer (Milton Roy Spectronic 21) ที่ความยาวคลื่น 450 nm หลังจากทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารอ้างอิง และนำสารละลายคอลลอยด์อูมิโนความเข้มข้น 35.0% - 50.0%w/v ไปวัดค่า pH ของด้วย pH meter (Precisa pH 900) และวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer (Brookfield Model RVDV-III) ที่ 100 rpm อุณหภูมิ  $30.0 \pm 0.5$  °C ส่วนเคลือบได้นำสารละลายคอลลอยด์เคลือบความเข้มข้น 0.050% 0.10% และ 0.15%w/v ไปวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง spectrometer (Milton Roy Spectronic 21) ที่ความยาวคลื่น 450 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารอ้างอิง ได้ผลการทดลองดังตาราง 3.3 จะพบว่า ค่า pH ของสารละลายคอลลอยด์อูมิโนความเข้มข้น 0.10%-0.30%w/v จะมีค่า ~7.6 และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นเป็น 35.0%-50.0%w/v จะมีค่า pH ~8 ซึ่งมีค่า pH สูงมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.10%-0.30%w/v เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ไม่มีผลต่อค่า pH ของสารละลายคอลลอยด์เลย สำหรับการวัดค่าความขุ่นของ

สารละลายคอลลอยด์อลูมินานั้น พบว่า ในช่วงความเข้มข้น 0.10%-0.30%w/v ค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเข้มข้น 35.0%-50.0%w/v นั้นไม่สามารถวัดค่าความขุ่นได้ เนื่องจากมีค่าความขุ่นมากเกินความสามารถของเครื่อง spectrometer (Milton Roy Spectronic 21) ที่จะวัดได้ ส่วนการวัดค่าความหนืดสามารถวัดได้ที่ความเข้มข้น 50.0%w/v เท่านั้น คือ 2.5 cp เนื่องจากที่ความเข้มข้นอื่นๆ มีความเข้มข้นน้อยเกินไปที่จะวัดค่าความหนืด ในกรณีของเคลือบจะพบว่า ในช่วงความเข้มข้น 0.050%-0.15%w/v จะมีค่า pH ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะคล้ายกับอลูมินา คือ ความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ไม่มีผลต่อ pH ของสารละลายคอลลอยด์ แต่ค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์

#### 4.3 การศึกษาการกระจายตัวของอลูมินาในน้ำ

การศึกษากการกระจายตัวของอลูมินาในน้ำ โดยวิธีวัดค่าความขุ่นและค่าความหนืดของสารละลายคอลลอยด์ ได้แบ่งเป็นสามส่วน คือ การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่มีต่อความขุ่นและค่าความหนืด การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีต่อค่าความขุ่น และการศึกษาอิทธิพลของ อิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อค่าความขุ่น

##### 4.3.1 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาที่มีต่อค่าความขุ่นและค่าความหนืด

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อลูมินาความเข้มข้น 0.10%-0.30%w/v ไปวัดค่าความขุ่นด้วยเครื่อง spectrometer (Milton Roy Spectronic 21) ที่ความยาวคลื่น 450 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็นสารอ้างอิง และนำสารละลายคอลลอยด์อลูมินาความเข้มข้น 35.0% - 50.0%w/v ไปวัดค่าความหนืดด้วยเครื่อง Viscometer (Brookfield Model RVDV-III) ที่ 100 rpm อุณหภูมิ  $30.0 \pm 0.5$  °C ได้ผลการทดลองดังรูป 3.18-3.20 และตาราง 3.4-3.5 เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับเวลา ที่ความเข้มข้นของอลูมินาต่างๆ พบว่า ค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาหลังทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ จะมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงเวลาประมาณ 25 นาที ค่าความขุ่นจะเริ่มคงที่ อาจเกิดจากในช่วงเวลาดังกล่าว ยังคงมีการจมตัวของอนุภาคขนาดใหญ่ เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก จนถึงเวลาประมาณ 25 นาที อนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณลดลง แต่ยังมีอนุภาคที่มีขนาดเล็กกระจายอยู่ในตัวกลางซึ่งตกลงมาได้ช้ากว่า หรือสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ ทำให้ค่าความขุ่นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง จึงทำให้เห็นว่าค่าความขุ่นเริ่มมีค่าคงที่ ดังรูป 3.18 และเมื่อเปรียบเทียบค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาที่ความเข้มข้นต่างๆกัน จะพบว่า สารละลายคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้น ก็จะมีค่าความขุ่นมากขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากปริมาณ

ของอนุภาคที่กระจายในตัวกลางมีมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์มากขึ้น  
 ดังรูป 3.19

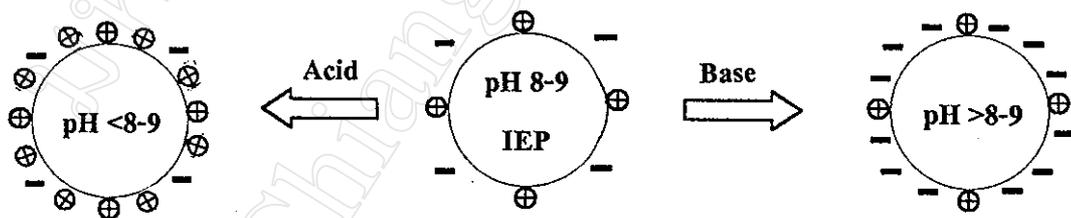
สำหรับอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่มีต่อค่าความหนืดนั้น เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดกับเวลา ที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาต่างๆ จากรูป 3.20 พบว่า ค่าความหนืดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ อาจเกิดจากอนุภาคเกิดการจมตัวลงมาและอยู่ใกล้กันมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้น ทำให้อนุภาคสามารถเกิดอันตรกิริยากันได้มากขึ้น เป็นผลให้ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้น จนถึงระยะเวลาหนึ่งความหนืดจะมีค่าคงที่ อาจเนื่องมาจากอนุภาคไม่สามารถเข้ากันมากกว่านี้ หรืออนุภาคไม่สามารถเกิดอันตรกิริยากันได้มากกว่านี้อีกแล้ว และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนืดของสารละลายคอลลอยด์อนุภาคนาที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน จะพบว่า สารละลายคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นมากขึ้นก็จะมีค่าความหนืดมากขึ้นเช่นกัน<sup>12, 13</sup> เนื่องเกิดจากเมื่อมีจำนวนอนุภาคมากขึ้นดังนั้นแรงระหว่างอนุภาคที่เกิดขึ้นก็จะมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังพบอีกว่าระยะเวลาที่ทำให้ค่าความหนืดมีค่าคงที่นั้น จะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ที่เพิ่มขึ้น นั่นแสดงให้เห็นว่าถ้าความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์อนุภาคนาเพิ่มมากขึ้น ก็จะต้องใช้เวลาในการที่ทำให้เข้าสู่สมดุลของความหนืดหรือระยะเวลาที่ทำให้ความหนืดมีค่าคงที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ดังรูป 3.20

#### 4.3.2 การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีต่อค่าความขุ่น

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อนุภาคนาความเข้มข้น 0.10%-0.30%w/v มาปรับ pH จากนั้นนำไปวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 450 nm หลังทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่า pH ในรูป 3.21 - 3.30 พบว่า ค่าความขุ่นจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์มากขึ้น โดยทุกๆความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ อนุภาคนาจะมีแนวโน้มเหมือนกัน คือ ค่าความขุ่นจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาจะกระทั่งมีค่าคงที่ที่เวลาประมาณ 20-25 นาที และในช่วง pH 7-9 จะเป็นช่วงที่สารละลายคอลลอยด์มีค่าความขุ่นสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ pH 3 pH 5 และ pH 11 ที่มีค่าความขุ่นน้อยกว่า น่าจะมีผลมาจากกรดและเบสที่เติมลงไปในช่วงของการปรับ pH โดยกรดและเบสที่เติมลงไปจะมีสมบัติเป็นอิเล็กโทรไลต์เช่นกัน ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการก่อกับของชั้นซ้อนของไอออนที่ผิวของอนุภาค ทำให้ความขุ่นที่วัดได้มีค่าน้อย

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์กับเวลา ในรูป 3.31-3.35 จะพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อนุภาคนาที่มีความเข้มข้นต่างๆ จะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และมีความชันที่ค่อนข้างคงที่ที่เวลาประมาณ 25 นาที ซึ่งเป็นช่วงที่อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะขึ้นอยู่กับการเวลาที่

เพิ่มขึ้น แต่ไม่ได้ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น นั่นคือเป็นระยะเวลาที่ความขุ่นของสารละลาย คอลลอยด์เริ่มมีค่าคงที่นั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาจากค่าความขุ่น และเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ความเข้มข้นต่างๆ กัน พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ อาจมีสาเหตุมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนอนุภาคเมื่อความเข้มข้นของ สารละลายคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นที่ความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์สูงๆ จึงมีปริมาณของอนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในน้ำมากขึ้น ทำให้ค่าความขุ่นที่เวลาเริ่มต้นของสารละลายคอลลอยด์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับสารละลายคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ และเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่เวลาเท่าๆกัน ทำให้ความแตกต่างของค่าความขุ่นที่เวลาเริ่มต้นกับค่าความขุ่นที่เวลาต่างๆ ของสารละลายคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นสูงๆ จะมีค่ามากกว่าที่ความเข้มข้นต่ำๆ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ค่า pH ของคอลลอยด์อลูมินาทุกความเข้มข้นที่ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อยที่สุดคือ pH 3 และ pH 11 อาจเกิดมาจากที่ pH ต่ำๆ ที่ผิวอนุภาคของ อลูมินาจะมีความเป็นบวกมาก ทำให้แต่ละอนุภาคเข้าใกล้กันได้น้อยลง เนื่องจากเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคที่มีประจุที่ผิวเหมือนกัน และที่ pH สูงๆ ที่ผิวของอลูมินาจะเป็นประจุลบมากขึ้น และจะเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคในน้ำค้ำขึ้น เป็นผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อย ซึ่งแตกต่างกับการพิจารณาจากค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ที่มีค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์สูงในช่วง pH 7-pH 9 สภาพประจุที่ผิวของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาในสภาวะที่เป็นกรดและเบส แสดงดังรูป 4.1

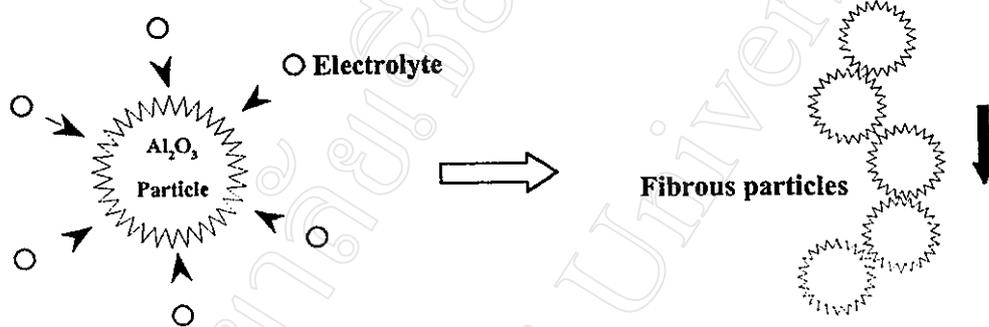


รูป 4.1 อิทธิพลของ pH ที่มีต่อสภาพของประจุที่ผิวของอนุภาคอลูมินา

#### 4.3.3 การศึกษาอิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อค่าความขุ่น

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อลูมินาความเข้มข้น 0.10%w/v ในสารละลาย 0.0500 M ถึง 0.750 M NaCl ไปวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 450 nm หลังทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ ได้ผลการทดลอง ดังตาราง 3.16 - 3.17 และรูป 3.36 - 3.38 เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับความเข้มข้นของสารละลาย NaCl จะพบว่า

ค่าความขุ่นมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 10 นาที และค่าความขุ่นจะมีค่าลดลงตามความเข้มข้นของสารละลาย NaCl และเริ่มมีค่าคงที่ที่ความเข้มข้นของ NaCl ประมาณ 0.100 M การลดลงของค่าความขุ่นตามความเข้มข้นของสารละลาย NaCl อาจมีสาเหตุมาจากผลของความแรงของไอออน เนื่องจากการเติมสารละลาย NaCl ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์



รูป 4.2 อิทธิพลของอิเล็กโทรไลต์ที่มีต่อการกระจายตัวของอลูมินา

โดยไอออนที่เติมลงไปจะไปกดทับชั้นซ้อนบนผิวของอนุภาค ทำให้อนุภาคสามารถเข้าใกล้กันได้มากขึ้น และเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคมากขึ้น ดังรูป 4.2 สามารถเกิด fibrous particles<sup>13</sup> เป็นผลให้การกระจายตัวของอนุภาคในตัวกลางลดลง และเมื่อพิจารณาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะลดลงตามเวลาและมีแนวโน้มที่จะลดลงตามความเข้มข้นของสารละลาย NaCl แต่ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

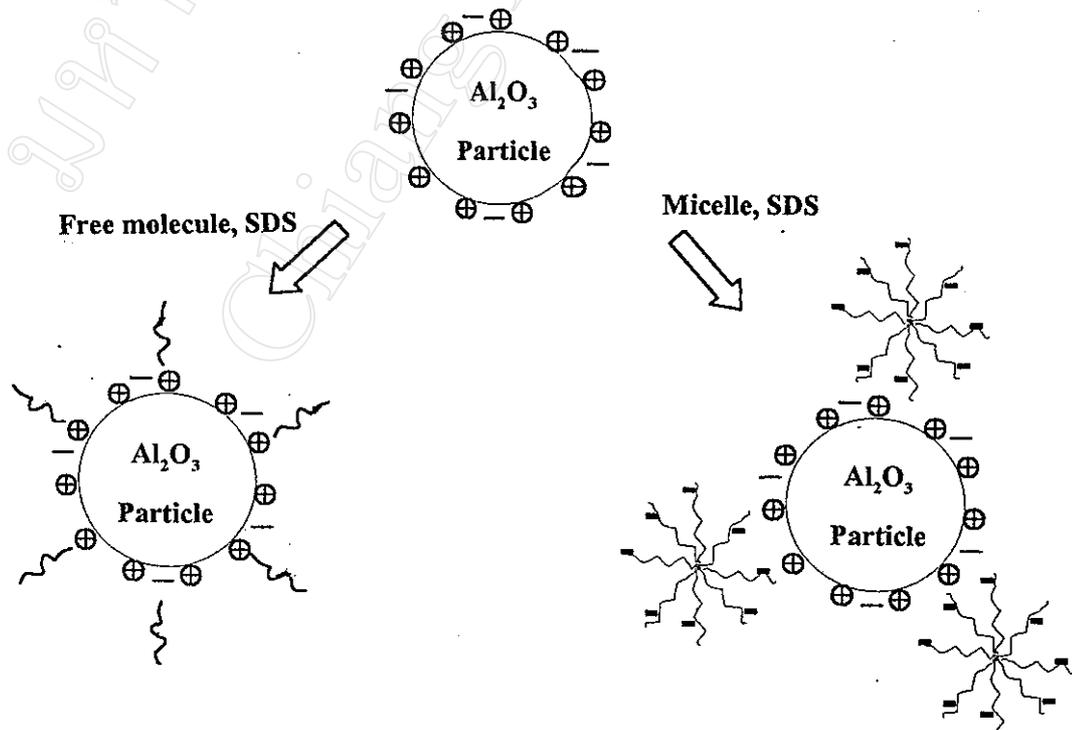
#### 4.4 การศึกษาการกระจายตัวของอลูมินาในสารละลาย SDS

การศึกษาการกระจายตัวของอลูมินาในสารละลาย SDS โดยวิธีวัดค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์ ได้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย SDS ที่มีต่อค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินา และขั้นที่สองเป็นการศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีต่อค่าความขุ่นของอลูมินาในสารละลาย SDS



ปริมาณของ โซเดียม โดเดซิลซัลเฟต ซึ่งสามารถไปจับที่ผิวของอนุภาคนาได้ ทำให้ค่าความขุ่นมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ความเข้มข้นต่างๆ กัน จะพบว่า ค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อนุภาคนาจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายคอลลอยด์ แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นที่เกิดจากสารละลาย SDS จะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน

เมื่อพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นกับเวลา ดังแสดงในรูป 3.50 - 3.54 และตาราง 3.24 - 3.28 จะพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในช่วงเวลาดังๆ จะไม่สามารถเห็นลำดับของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นได้ชัดเจน อาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของอนุภาคยังได้รับผลจากการกวนด้วย magnetic stirrer แต่หลังจากเวลาประมาณ 25 นาที จะสามารถเห็นลำดับของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นชัดเจนขึ้น ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากอิทธิพลของ SDS ผลที่สังเกตได้ของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นในช่วงเวลาหลังจาก 25 นาที จะพบว่า ที่ความเข้มข้น 5.00 mM 6.00 mM 7.00 mM 11.0 mM และ 13.0 mM จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นสูงกว่าที่ความเข้มข้นอื่นๆ อาจมีสาเหตุมาจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวเป็นความเข้มข้นที่มีโมเลกุลอิสระของ SDS ที่สามารถไปจับที่ผิวของอนุภาคได้มาก ทำให้อนุภาคของอนุภาคนามีน้ำหนักมากขึ้นด้วย เป็นผลการจมตัวลงของอนุภาคเร็วขึ้น ค่าความขุ่นที่วัดได้จึงมีความแตกต่างกับค่าความขุ่นในช่วงเวลาเริ่มต้นค่อนข้างมาก ทำให้ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



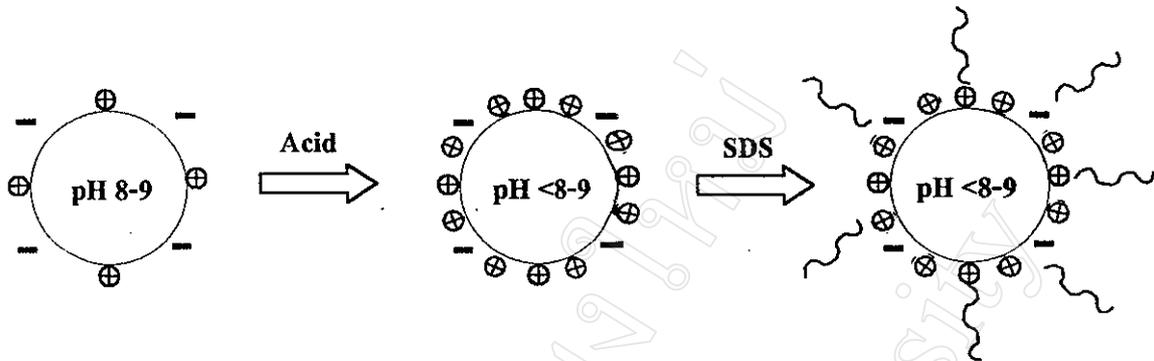
รูป 4.4 การเกิดอันตรกิริยาของ SDS บนผิวของอนุภาคนา

สำหรับที่ความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ แม้ว่าอนุภาคของอูมิโนจะดูดซับ ไมเซลล์ที่มีโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ ซึ่งก็น่าจะจมตัวได้เร็วมากขึ้น แต่กลับพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อย อาจเกิดจากอิทธิพลของความเกาะกันที่มีมากเมื่อเกิดจากการดูดซับ ไมเซลล์ไว้ที่ผิว ดังรูป 4.4

#### 4.4.2 การศึกษาอิทธิพลของ pH ที่มีต่อค่าความขุ่น

จากการนำสารละลายคอลลอยด์อูมิโนความเข้มข้น 0.10%w/v ในสารละลาย SDS 3 mM-13 mM SDS มาปรับ pH ให้เป็น pH 3 - pH 11 จากนั้นนำไปวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 450 nm หลังทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองดังรูป 3.55-3.64 และตาราง 3.29-3.33 เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับเวลาที่ pH ต่างๆ และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับค่า pH ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกันสำหรับทุกความเข้มข้นของสารละลาย SDS จะพบว่าค่าความขุ่นจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยช่วงเวลาก่อน 20 นาที ค่า pH ที่ให้ค่าความขุ่นมากที่สุดคือ pH 7 - pH 9 และหลังทิ้งไว้ที่เวลาประมาณ 20 นาที ที่ pH 3 จะให้ค่าความขุ่นมากที่สุด ซึ่งเกิดมาจากที่ pH 3 เป็น pH ที่อนุภาคของอูมิโนมีความเป็นบวมมาก จึงสามารถเกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคได้มากด้วย และที่สำคัญเป็น pH ที่น่าจะเกิดแรงดึงดูดกับ โคเดคิลซัลเฟตไอออนมากที่สุด เพราะที่ pH สูงๆ อนุภาคของ อูมิโนก็จะมีประจุลบ ซึ่งเกิดแรงดึงดูดกับ โคเดคิลซัลเฟตไอออนได้น้อย อาจจะทำให้เกิดความเกาะกันน้อยลง แต่ที่ pH สูงๆ ก็สามารถเพิ่มแรงผลักระหว่างอนุภาคกับ โคเดคิลซัลเฟตไอออนได้ เนื่องจากเป็นโมเลกุลที่มีประจุลบเหมือนกัน ทำให้มีค่าความขุ่นมากขึ้น

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นกับเวลา ได้ผลการทดลองดังรูป 3.65-3.74 และตาราง 3.34-3.42 จะพบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น แต่ทั้งการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นสามารถพิจารณาร่วมกันได้ คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นน้อยๆ จะแสดงถึง สารละลายคอลลอยด์ที่มีความเสถียร โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่า pH ที่ทำให้ได้การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นเป็นไปตามลำดับดังนี้ คือ pH 3 pH 11 pH 5 pH 9 และ pH 7 ตามลำดับจากน้อยไปมาก ซึ่งมีแนวโน้มคล้ายคลึงกันสำหรับทุกๆ ความเข้มข้นของสารละลาย SDS การที่การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าต่างๆ ที่ pH ต่างๆ น่าจะเกิดมาจากที่ pH ต่างๆ สภาพประจุที่ผิวของอนุภาคอูมิโนจะมีความเป็นบวมมาก ทำให้เกิดการดูดซับอูมิโนได้ดีกว่าที่ pH อื่นๆ ดังรูป 4.5



รูป 4.5 ลักษณะการดูดซับ SDS บนผิวของอนุภาคอลูมินาในสถานะที่เป็นกรด

เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นกับเวลาของสารละลายคอลลอยด์ในสารละลาย SDS ความเข้มข้นต่างๆ โดยแยกพิจารณาเป็นกราฟความสัมพันธ์ของแต่ละ pH ได้ผลการทดลองดังรูป 3.75 - 3.84 และตาราง 3.44 - 3.53 จะพบว่า ความเข้มข้นของสารละลาย SDS ที่ทำให้ได้การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นค่าน้อยที่สุด คือ 8 mM ซึ่งเป็นความเข้มข้นวิกฤตของไมเซลล์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นน้อยๆ ก็น่าจะมาจากการเกิดเป็นไมเซลล์ของ SDS ซึ่งการเกิดเป็นไมเซลล์นี้ จะเกิดจากการจับตัวกันของหมู่ไฮโดรคาร์บอนทำให้โคเคิลลซัลเฟตยังคงสามารถที่จะแสดงความเป็นลบของไอออนได้ การเกิดเป็นไมเซลล์จึงเสมือนว่าเป็นการเกิดไมเลกุลของไอออนลบขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเกิดแรงดึงดูดกับอนุภาคของอลูมินาย่อมสร้างความเกาะเกาะมากกว่าการเกิดแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของอลูมินากับโคเคิลลซัลเฟตไอออน การเกิดแรงดึงดูดระหว่างไมเซลล์กับอนุภาคของอลูมินาย่อมทำให้อนุภาคของอลูมินามีน้ำหนักมากขึ้น แต่น่าจะมีผลน้อยกว่าผลจากการสร้างความเกาะเกาะ จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อย

#### 4.5 การศึกษาการกระจายตัวของเคลือบในสารละลาย SDS

จากการนำสารละลายคอลลอยด์เคลือบความเข้มข้น 0.050%-0.15%w/v ในสารละลาย 3 mM-13 mM SDS ไปวัดค่าความขุ่นที่ความยาวคลื่น 450 nm หลังทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆ ได้ผลการทดลองดังรูป 3.85-3.90 และตาราง 3.54-3.56 เมื่อพิจารณารูปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับเวลา และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นกับความเข้มข้นของสารละลาย SDS จะพบว่าค่าความขุ่นจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารละลาย SDS ที่ทำให้สารละลายคอลลอยด์มีค่าความขุ่นมากที่สุดคือ 6 mM

สำหรับการพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบ ได้ผลการทดลองดังรูป 3.91-3.96 และตาราง 3.57-3.62 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะเพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่ได้จะสังเกตเห็นลำดับการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างยาก ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการที่เคลือบเป็นสารผสมของออกไซด์ต่างๆหลายชนิด ที่มีสมบัติทางกายภาพหรือสมบัติทางเคมีแตกต่างกันออกไป ทำให้อิทธิพลของสารละลาย SDS ที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบต่างจากสารละลายคอลลอยด์อลูมินา โดยพบว่าความเข้มข้นของสารละลาย SDS ที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์เคลือบมีค่าน้อยที่สุด คือ 6 mM

สำหรับสาเหตุที่ทำให้ค่าความขุ่นมีค่ามาก ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมีค่าน้อยที่ความเข้มข้นของสารละลาย 6 mM SDS อาจเนื่องมาจากเหตุผลที่ว่า อัตราส่วนของเคลือบที่เลือกมาทดลองนี้เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสภาพประจุที่ผิวเป็นลบ ดังนั้นการเติมสารละลาย SDS ซึ่งเมื่อแตกตัวจะให้ไอออนลบของ โดเดซิลซัลเฟตที่มีประจุเหมือนกับอนุภาคของเคลือบ ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคมากขึ้น

เมื่อนำค่าความขุ่นและอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินา และเคลือบในสารละลาย SDS ความเข้มข้นต่างๆ มาพิจารณาร่วมกัน ได้ผลดังตาราง 3.63-3.64 และ รูป 3.97-3.99 จะพบว่า ค่าความขุ่นของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาและเคลือบจะมีค่ามากที่ความเข้มข้นของสารละลาย SDS 6 mM แต่เมื่อพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะเห็นว่าสารละลายคอลลอยด์อลูมินาจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นที่ต่ำที่ความเข้มข้นของ SDS ต่ำๆ และที่บริเวณ c.m.c. (8 mM) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นของเคลือบจะมีค่าต่ำที่สุดที่ความเข้มข้น 6 mM ซึ่งน่าจะมีสาเหตุดังได้กล่าวในข้างต้น

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเติมสารละลาย SDS ลงในสารละลายคอลลอยด์อลูมินาแต่ละความเข้มข้นจะให้ผลคล้ายคลึงกัน คือ สารละลาย SDS สามารถช่วยปรับปรุงการกระจายตัวของสารละลายคอลลอยด์อลูมินาได้ดีที่ความเข้มข้น 8 mM และที่ pH 3 และการเติมสารละลาย NaCl ลงในสารละลายคอลลอยด์อลูมินาทำให้การกระจายตัวของอลูมินาน้อยลง นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การเติมสารละลาย SDS ลงในสารละลายคอลลอยด์เคลือบสามารถช่วยปรับปรุงการกระจายตัวของเคลือบได้ที่ความเข้มข้น 6 mM ซึ่งหากมีการศึกษาพฤติกรรมการกระจายตัวของโลหะออกไซด์ชนิดอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในเคลือบ และรวบรวมข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงความเสถียรของน้ำเคลือบด้วยวิธีการต่างๆ ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ทางเซรามิกในอุตสาหกรรมเซรามิกต่อไปได้