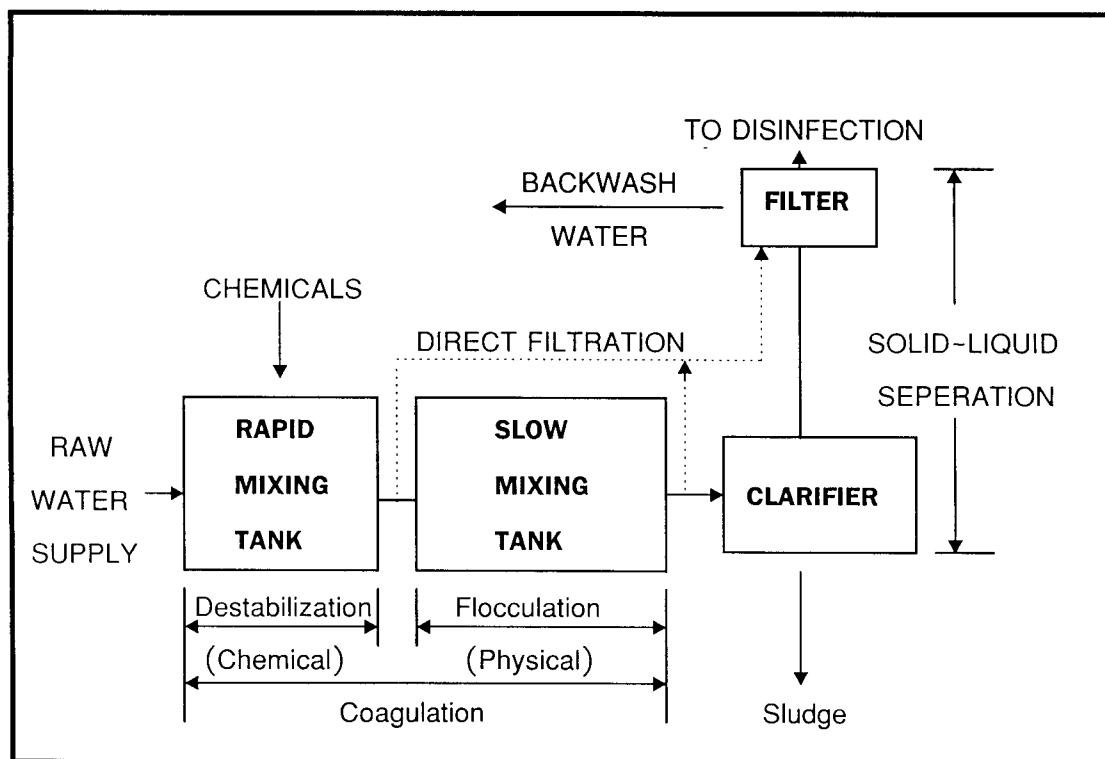


บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา

กระบวนการตกตะกอน เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของสารแขวนลอย ซึ่งเป็นสาเหตุของความขุ่น เกิดการรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ตกตะกอนได้ง่ายและถูกกำจัดออกไปโดยการตกตะกอนและการกรอง การสร้างตะกอน (Coagulation) มีส่วนประกอบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การกวนเร็ว และ การกวนช้า



ภาพที่ 2 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของการสร้างตะกอน (Coagulation)

ในระบบผลิตน้ำประปา

ที่มา : โทมัส คิวะบวร, 2527

การกวนเร็ว (Rapid Mixing) การทำงานของกระบวนการกวนเร็ว เริ่มจากปล่อยน้ำดิบเข้าถังกวนเร็ว แล้วเติมสารสร้างตะกอน เพื่อทำหน้าที่ในการลดหรือทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอย ภายใต้อาหารที่มีความปั่นป่วนอย่างรุนแรง ทำให้การกระจายของสารสร้างตะกอนเป็นไปได้อย่างดีและเป็นการเพิ่มโอกาสที่จะให้อนุภาคต่าง ๆ มาสัมผัสกับอนุภาคของสารแขวนลอย ที่ถูกทำลายเสถียรภาพและผ่านเข้าสู่การกวนช้า เพื่อรวมตะกอนต่อไป

การกวนช้า (Slow Mixing) เป็นการสร้างสภาวะที่เหมาะสมแก่ อนุภาคของสารแขวนลอย ที่สูญเสียเสถียรภาพ ให้เคลื่อนที่เข้าใกล้กันเพื่อสร้างโอกาสสัมผัสและใช้เวลานานพอเพื่อที่จะเปลี่ยนอนุภาคจากขนาดเล็กให้เป็นขนาดใหญ่ และพร้อมที่จะตกตะกอนลงมาเพื่อกำจัดออกไป

2.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและการตกตะกอน

การสร้างตะกอนและการตกตะกอนในระบบผลิตน้ำประปา มีองค์ประกอบที่มีผลต่อการสร้างตะกอนและการตกตะกอนที่สำคัญ พอสรุปได้ดังนี้

2.2.1 พีเอช (pH)

น้ำแต่ละชนิด จะมีช่วงพีเอช ที่จะเกิดการสร้างตะกอนและการรวมตะกอนตลอดจนการตกตะกอนได้ดีไม่เหมือนกัน การเติมสารสร้างตะกอนลงในน้ำที่ไม่อยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองสารสร้างตะกอนที่ใช้แล้ว ยังทำให้น้ำที่ผลิตได้มีคุณภาพไม่ดีเท่าที่ควรด้วย จากการศึกษา พบว่า สารส้มที่ต้องใช้น้อยที่สุด ในการลดค่าความขุ่น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ของตะกอนดินเหนียว เกิดได้ดีในช่วงพีเอช 6.8-7.8 (Water Quality & Treatment ,1971)

2.2.2 เกลือของสารที่อยู่ในน้ำดิบ

น้ำตามธรรมชาติ มักจะมีเกลืออนินทรีย์ละลายอยู่ ซึ่งทำให้เปลี่ยนแปลงสิ่งเหล่านี้ของน้ำดิบ

- ช่วงของพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอน
- ระยะเวลาที่จับตัวเป็นตะกอน
- ปริมาณที่พอเหมาะของสารสร้างตะกอนที่ใช้

2.2.3 ความขุ่น (Turbidity)

ความขุ่นของน้ำส่วนมากเนื่องมาจากดินเหนียว และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งมีขนาดที่อาจตกตะกอนได้ง่าย จนถึงขนาดเล็กมาก (0.2-5.0 ไมครอน) ได้มีการค้นพบว่า น้ำที่มีความขุ่น น้อยอาจใช้ปริมาณของสารสร้างตะกอนเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่มีความขุ่นมาก (Water Quality & Treatment ,1971)

2.2.4 สารสร้างตะกอน (Coagulant)

สารสร้างตะกอนแต่ละชนิดก็มีช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการสร้างตะกอนไม่เหมือนกัน สำหรับสารส้มช่วงที่ทำให้เกิดการสร้างตะกอนได้ดีอยู่ในช่วงพีเอช 5.0-8.5 และสารสร้างตะกอนอื่น ๆ ที่นิยมใช้กันมากในระบบผลิตน้ำประปา ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และสารเคมีเหล่านี้จะทำปฏิกิริยาได้ดีและในปริมาณที่ประหยัด เมื่อคุณภาพของน้ำมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 2.1 (โกมล ศิวะบรร, 2527)

ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารสร้างตะกอนและช่วงพีเอชที่เหมาะสม

ลำดับที่	ชนิดของสารสร้างตะกอน	ช่วงพีเอชที่เหมาะสม	ปริมาณที่ใช้ (mg./l.)	คุณสมบัติ
1	สารส้ม $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}]$	5.0-8.5	5.13-8.55	เป็นกรดและมีฤทธิ์กัดกร่อน
2	เฟอรัสซัลเฟต $(\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})$	8.5-11.0	5.13-51.3	เป็นกรดและมีฤทธิ์กัดกร่อน
3	โซเดียมอลูมิเนต $(\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4)$	-	3.42-34.2	เป็นด่าง
4	เฟอริกคลอไรด์ (FeCl_3)	5.0-11.0	8.55-51.3	เป็นกรดและมีฤทธิ์กัดกร่อน
5	เฟอริกซัลเฟต $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3]$	5.0-11.0	8.55-51.3	เป็นกรดและมีฤทธิ์กัดกร่อน

2.2.5 อุณหภูมิ

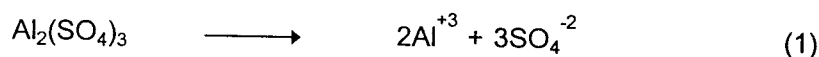
อุณหภูมิที่ลดต่ำลงจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาเคมีช้าลง นอกจากนี้อุณหภูมียังมีผลต่อพีเอชด้วย

2.2.6 การกวน (Mixing)

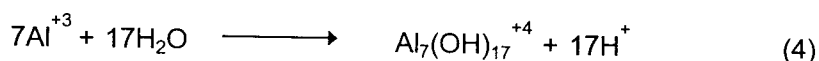
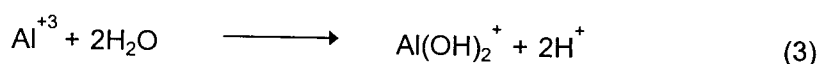
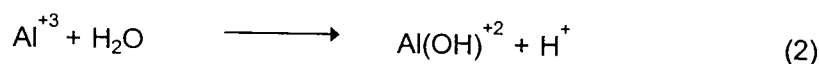
การกวน ทำให้สารสร้างตะกอนกระจายได้อย่างทั่วถึง และเกิดการรวมตัวของตะกอนได้ดี ดังได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งการกวนก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญ ต่อการสร้างตะกอนและการรวมตะกอน

2.3 สารสร้างตะกอน

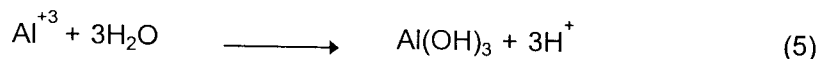
สารสร้างตะกอน ที่ใช้ในกระบวนการตกตะกอนส่วนใหญ่ได้แก่ สารส้ม ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ เมื่อละลายน้ำ จะมีการแตกตัวของอนุมูลบวกและอนุมูลลบเกิดขึ้นดังสมการ



อลูมิเนียมไอออน (Al^{+3}) จะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของน้ำได้ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$ หรือ Al^{+3} ไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมไอออน จะเกิดขึ้นทันทีโดยไลแกนด์ (Ligands) ชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ เช่น OH^- , F^- , SO_4^{-2} และสารอินทรีย์ต่าง ๆ (Driscoll, 1988) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง OH^- จะเข้าแทนที่โมเลกุลของน้ำ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง อลูมิเนียม กับ ไฮดรอกไซด์ไอออน ดังสมการ

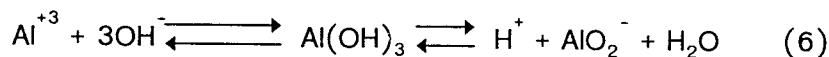


ในกรณีที่มีความเข้มข้นของสารส้มสูงกว่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัว (Saturation Point) ไฮโดรไลซิสจะดำเนินต่อไป จนได้ผลของปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นผลึกของ $\text{Al}(\text{OH})_3$

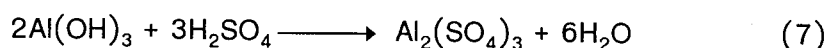


ในปัจจุบันผลการวิจัย แสดงให้เห็นว่า สารประกอบเชิงซ้อน (Complex) ของอลูมิเนียม ในน้ำ ที่มีอยู่ได้สภาวะปกติของระบบประปามี 4 ชนิด คือ Al^{+3} , $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{+2}$, และ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (มันสิน ตันทุลเวศม์, 2537) สารประกอบเชิงซ้อนอลูมิเนียมเหล่านี้ จะทำลายเสถียรภาพของสารแขวนลอยและเกิดการรวมตัวของตะกอนเบา จนมีขนาดใหญ่และตกตะกอนได้ง่าย

อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $\text{Al}(\text{OH})_3$ มีคุณสมบัติ เป็นสารประกอบแอมโฟเทอริก (Amphoteric Compound) (กรรณิการ์ สิริสิงห, 2525) คือ สามารถละลายได้ ทั้งในสภาวะที่เป็นกรด และ เป็นด่างดังสมการ



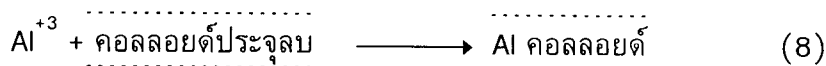
เมื่อเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ลงไปจะเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



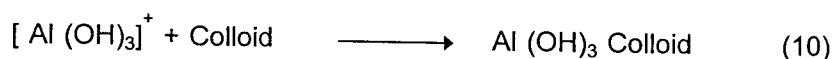
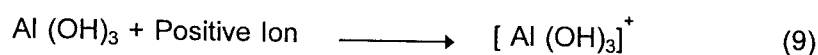
โดยที่สารอินทรีย์จะถูกคาร์บอนไนซ์ (Carbonized) ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นและจากปฏิกิริยาจะพบว่ากรดซัลฟูริก 1.9 ปอนด์ จะทำปฏิกิริยาพอดีกับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ 1 ปอนด์ (Roberts and Roddy, 1960)

อลูมิเนียมซัลเฟต ที่ใช้กันส่วนใหญ่อยู่ในรูป Filter Alum $[\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}]$ เมื่อเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงไปในน้ำ โมเลกุลของมันจะสลายตัวให้ Al^{+3} , SO_4^{-2} และ Complex ซึ่งเกิดจากการไฮโดรไลซิส ของอลูมิเนียม เช่น $\text{Al}(\text{OH})^{+2}$, $\text{Al}(\text{OH})_3$ และ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ (W.Stumm and J.J.Morgan, 1962) ผลัดกันของการไฮโดรไลซิสบางตัว จะรวมกันเป็นลูกโซ่ยาวของ Polymeric Aluminium Hydroxide ซึ่งมีประจุมากขึ้น พวกที่มีประจุบวก อาจจะรวมกับคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ เพื่อให้ประจุบนอนุภาคคอลลอยด์สะเทิน ทำให้เกิดการรวมตัวกันเข้าเป็นก้อน (Agglomeration) ของคอลลอยด์เกิดเป็นก้อนใหญ่ขึ้น

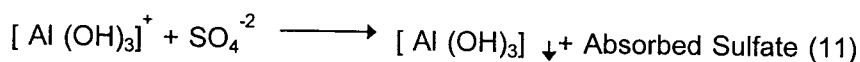
พีเอชของน้ำ จะมีความสำคัญมากในการที่จะบอกว่า ผลัดกันชนิดไหนจากการไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้นมากกว่าชนิดอื่น ถ้าพีเอชต่ำพวกที่มีประจุบวกจะเกิดมาก โดยทั่วไป Complex ที่มีประจุบวกมาก จะให้ผลในการเพิ่มทั้งปริมาณและอัตราเร็วของการตกตะกอน พวกอ็อกไซด์ที่มีประจุลบบางตัว เช่น SO_4^{-2} หรือ PO_4^{-3} สามารถที่จะรวมกันกับอ็อกไซด์ที่มีประจุบวก เช่น Al^{+3} เกิดเป็น Complex เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งผลของการตกตะกอน และพีเอชที่ดีที่สุด ที่การตกตะกอนเกิดขึ้น



นอกจากนี้ Al^{+3} สามารถจับกับอนุภาคคอลลอยด์ ดังสมการที่ 8 แล้ว Al^{+3} ยังทำปฏิกิริยากับ OH^- ในน้ำกลายเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3$ เป็นตะกอนเล็ก ๆ รวมตัวกับอนุภาคนิวตอื่นเกิดเป็นตะกอนที่มีประจุบวกและไปจับกับอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีประจุลบ เป็นเหตุให้เกิดอนุภาคใหญ่ได้เช่นกัน ดังสมการ



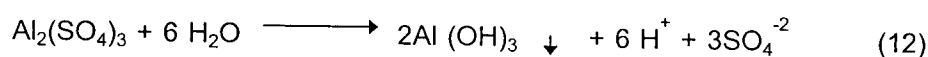
$[\text{Al}(\text{OH})_3]^+$ ที่เหลืออยู่ก็จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคลบอื่น ๆ เช่น SO_4^{-2}



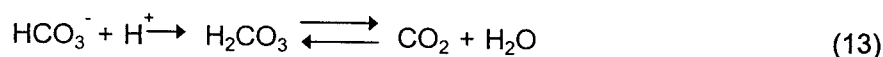
เนื่องจาก Al^{+3} มีประสิทธิภาพสูงกว่า $[\text{Al}(\text{OH})_3]^+$ ในการทำลายประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ดังนั้นเมื่อเติมสารละลายสารส้มลงไปจะต้องกวนอย่างรวดเร็วทันที ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เกิดขึ้น เพื่อให้ปฏิกิริยาตามสมการ (8) เกิดขึ้นมากที่สุด โดยทั่วไปเวลาที่ใช้ในการกวนเร็ว ประมาณ 1 นาที

เมื่ออนุภาคคอลลอยด์ จับกันเป็น絮ตะกอนเบาเล็ก ๆ ซึ่งมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะต้องลดความเร็วในการกวนเปลี่ยนมาเป็นการกวนช้า ๆ เพื่อไม่ให้絮ตะกอนเบาเล็ก ๆ ที่เกิดขึ้นแตกตัวและเพื่อให้絮ที่เกิดขึ้นมีโอกาสสัมผัสกัน จับกันเป็นตะกอนใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการกวนช้า ประมาณ 20 นาที ตะกอนที่เกิดขึ้นแยกออกได้โดย การตกตะกอนในถังตกตะกอน

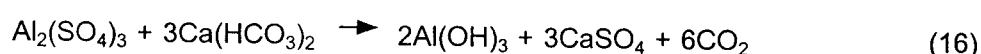
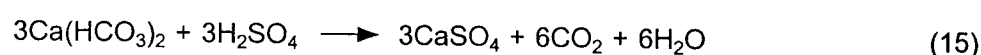
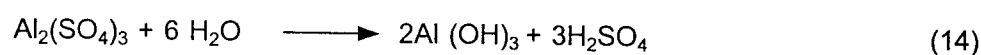
ปฏิกิริยาเคมี เมื่อเอาพีเอชและความเป็นด่างของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย การเปลี่ยนแปลงทางเคมี อาจแสดงโดยสมการง่าย ๆ เมื่อเติมอลูมิเนียมซัลเฟตลงในน้ำจะรวมกับ OH^- เกิดเป็น $\text{Al}(\text{OH})_3, \text{H}^+, \text{SO}_4^{-2}$ ดังสมการ



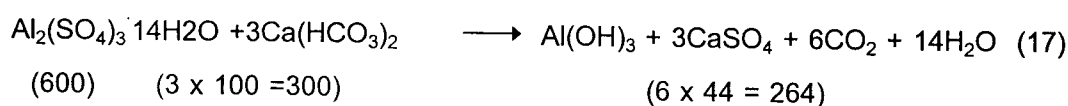
เมื่ออลูมิเนียมซัลเฟตละลายน้ำจะเกิด H^+ ซึ่งทำให้ พีเอชลดลงจนกระทั่งถึงจุดที่ทำให้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Al}(\text{OH})_3]^+$ ไม่เกิดจนกว่าจะถูกกำจัดออกไป ความเป็นด่างในน้ำเนื่องจากไบคาร์บอเนต จะช่วยไม่ให้พีเอชลดลง โดยทำลาย H^+ เสีย ดังสมการ



เพื่อที่จะให้เป็น ปริมาณที่ยอมรับได้ (Quantitative Accept) อาจเขียนสมการในรูปโมเลกุล ดังนี้



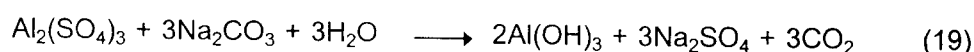
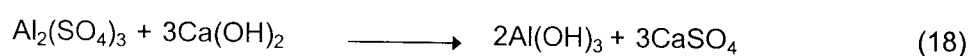
ความสัมพันธ์ของน้ำหนักในสมการ (16) อาจเขียนได้ดังนี้



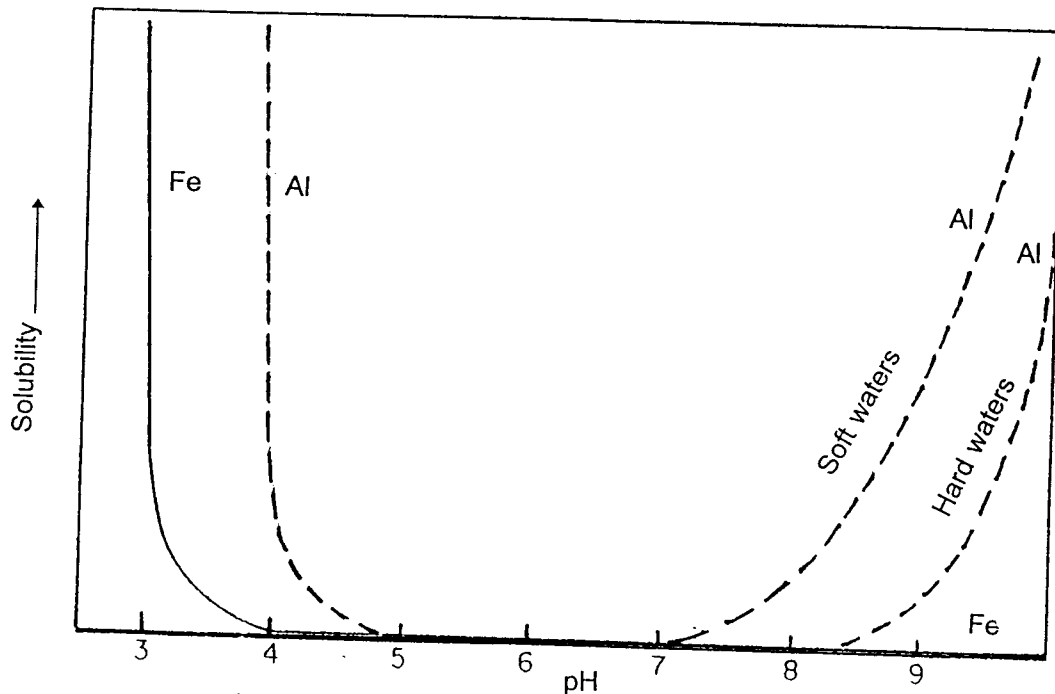
น้ำหนักโมเลกุล โดยประมาณของ สารส้ม = 600 ทำปฏิกิริยากับ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ซึ่งแทนค่าความเป็นด่างในน้ำ ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล = 100 ดังนั้น จะได้

600 ส่วนของ สารส้ม จะทำลาย 300 ส่วนของ Alkalinity และให้ 264 ส่วนของ CO_2 (Carbon dioxide acidity) หรือ 1 mg/l ของ สารส้ม จะทำลาย 0.5 mg/l ของ Alkalinity และให้ 0.44 mg/l ของ CO_2

หลังจากเติมสารสร้างตะกอน (สารส้ม) ลงไปในน้ำแล้ว พีเอชของน้ำจะลดลง และ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ จะถูกเปลี่ยนไปเป็น CaSO_4 ซึ่งเป็นความกระด้างถาวร จึงถือว่าเป็นข้อเสียจากการเติมสารส้มแล้วทำให้เกิดความกระด้างถาวรขึ้นในน้ำ ในกรณีที่ความเป็นด่างในน้ำไม่เพียงพอจะต้องเติม ปูนขาว หรือ โซดาแอช ก็ได้ ปฏิกิริยาที่เกิด เป็นดังนี้



การตกตะกอนจะได้ผลดีที่สุดที่ค่าพีเอชช่วงหนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของ สารสร้างตะกอนที่ใช้ ดังได้กล่าวมาแล้ว ในตารางที่ 2.1 สำหรับสารส้มค่าพีเอชที่เหมาะสม จะอยู่ระหว่าง 5.0-8.5 จากที่ทราบมาแล้วว่าสารส้มมีคุณสมบัติ เป็นสารประกอบแอมโฟเทอริก คือ สามารถละลายได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและเป็นด่าง ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Solubility curves for ferric and aluminum hydroxides.

ที่มา : Chemistry for Sanitary Engineers., 1967.

ดังนั้น การคำนวณปริมาณ สารส้ม ที่จะใช้ในการทำปฏิกิริยากับ ความเป็นด่างในน้ำ หรือที่เติมลงไปจึงยาก ตามทฤษฎีแล้ว มักใช้ความเข้มข้นข้างล่างนี้เป็นแนวทางในการคำนวณปริมาณ สารส้ม ที่จะใช้โดยประมาณ ดังนี้

1 ppm ของ สารส้ม จะทำปฏิกิริยากับ 0.44 ppm Alkalinity as CaCO_3

0.30 ppm 85% Quick lime as CaO

0.35 ppm 95% Hydrated Lime as Ca(OH)_2

0.48 ppm Soda ash (Na_2CO_3)

กล่าวคือ ถ้าต้องการให้เกิด Al(OH)_3 อย่างสมบูรณ์ สารส้ม 1 mg./l. จะทำปฏิกิริยาหรือทำลายกับสภาพความเป็นด่างของน้ำ (Alkalinity) ได้ 0.5 mg./l. as CaCO_3 และจะก่อให้เกิด CO_2 (Carbondioxide acidity) 0.44 mg./l. หรือ สารส้ม 1 mg./l. จะทำปฏิกิริยากับ CaO ได้ 0.30 mg./l. หรือ สารส้ม 1 mg./l. จะทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)_2 ได้ 0.35 mg./l. หรือ สารส้ม 1 mg./l. จะทำปฏิกิริยากับ Na_2CO_3 ได้ 0.48 mg./l.

2.3 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากคุณสมบัติที่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Al}_2(\text{OH})_3]$ มีคุณสมบัติเป็นสารประกอบแอมโฟเทอริก คือ สามารถละลายได้ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและสภาวะที่เป็นด่าง จึงทำให้นักวิจัยต่าง ๆ ได้ศึกษาวิธีการนำสารส้มออกจากตะกอน พอสรุปได้ ดังนี้

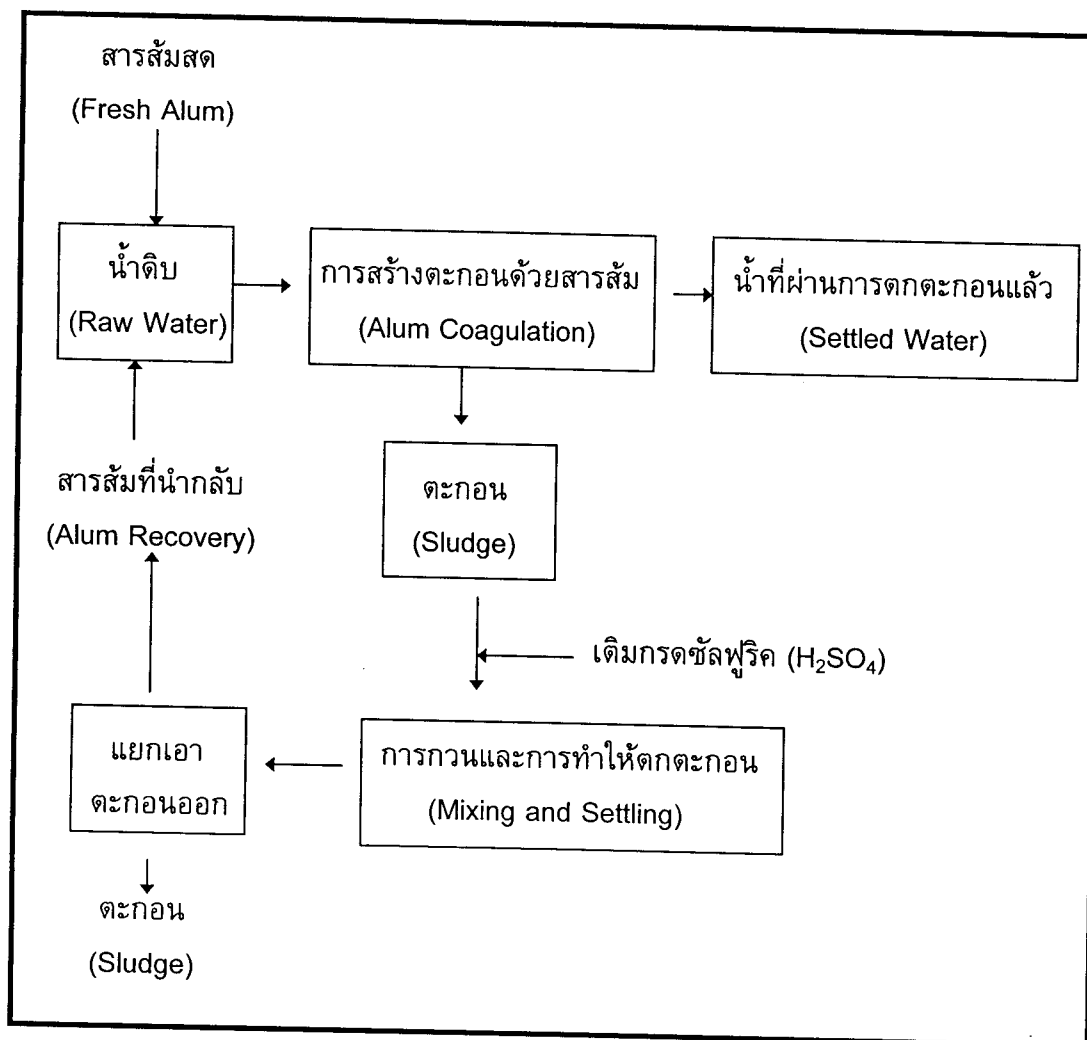
Roberts and Roddy (1960) ได้นำสารส้มออกจากตะกอนโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ไปเปลี่ยนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ ให้เป็นสารส้ม $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ โดยทำการทดลอง 2 วิธี คือ ทำตะกอนเปียกให้เป็นกรดด้วยกรดซัลฟิวริกเลย และวิธีทำตะกอนให้แห้งก่อนแล้วจึงเติมกรดซัลฟิวริก ซึ่งวิธีแรกเป็นวิธีที่น่าสนใจมากกว่า เพราะขั้นตอนง่ายกว่าและไม่ต้องใช้เครื่องมือและค่าใช้จ่ายใด ๆ ปริมาณของกรดซัลฟิวริกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับค่าความเป็นด่างของน้ำดิบ ถ้าความเป็นด่างของน้ำดิบสูงต้องใช้กรดมากขึ้น เนื่องจากจะต้องใช้ในการปรับพีเอช เพื่อให้แน่ใจว่าจะเกิดการสร้างตะกอนได้ พบว่า การนำสารส้มกลับ จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ของตะกอนและส่วนผสมของกรด

Issac and Vahidi (1960) ก็ได้ทำการทดลองในลักษณะที่คล้ายกัน แต่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ก่อน และพบว่าไม่สามารถนำสารส้มออกจากตะกอนได้ แม้จะทำการทดลองที่พีเอช 11 ก็ตาม และ สารอินทรีย์ที่เกาะติดกับอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ฟล็อก $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ ถ้าอยู่ในสภาวะที่เป็นด่าง จะละลายได้ที่พีเอชมากกว่าหรือเท่ากับ 8.0 สำหรับในสภาวะที่เป็นกรดจะใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ปรับพีเอชของส่วนผสมของตะกอนและกรดให้พีเอช เป็น 3.0 แล้วนำไปเหวี่ยงแยกเอาส่วนที่เป็นน้ำ (Supernatant) ออกไปหาปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่ในตะกอนนั้น แล้วนำไปทดสอบ การเกิดการรวมตะกอนโดยใช้สารส้มสด (Fresh Alum) เป็นตัวควบคุม พบว่า ตะกอนเบาที่เกิดจากสารส้มที่นำกลับ ดีพอ ๆ กับตะกอนเบาที่เกิดจากสารส้มสด และ ความเร็วในการตกตะกอนก็เท่ากัน สารส้มจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 5-6 ครั้ง และ ร้อยละของสารส้มที่นำกลับ จะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละครั้ง (Cycle) ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการทำการรวมตะกอนของแต่ละครั้ง จะแปรเปลี่ยนไป แต่ความสามารถรวมของการรวมตะกอน (Overall Flocculation Capacity) ของการนำสารส้มกลับนั้น จะมีค่าสมมูลกับสารส้มสด สารส้มที่นำกลับจะทำให้พีเอชลดต่ำลง ในการทำการสร้างตะกอนครั้งต่อไป เพราะกรดที่เหลือจากการนำสารส้มกลับ จากการทดลองนี้ พบว่า จะได้ค่าเฉลี่ยของสารส้ม 1.46 กรัมต่อ 1 กรัมของกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 98 % นั่นคือ กรดซัลฟิวริก 1 ตันจะสมมูลกับ 1.46 ตันของสารส้มทางการค้า

Golucke and Oswald (1964) ได้ทำการทดลองนำสารส้มออกจากตะกอนเบาเหลว (Flocculated Agal Slurry) โดยใช้กรด 3 ชนิดคือ กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid), กรดซิตริก (Citric Acid) และ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ตะกอนเหลวที่ทำให้เป็นกรดแล้ว จะถูกนำไปเหวี่ยงแยกตะกอนออก แล้วนำเอาส่วนที่เป็นน้ำมาหา ปริมาณอลูมิเนียม การปรับพีเอชของตะกอนเหลวให้เป็นกรด จะได้ผลดีที่พีเอช 3.0 หรือต่ำกว่า จากการทดลอง พบว่า กรดซัลฟูริก ไม่ทำลายเซลล์ของสาหร่ายในตะกอนเหลว เมื่อปรับพีเอชจนถึง 3.0 แต่กรดซิตริก จะทำลายเซลล์ของสาหร่ายในตะกอนเหลวเมื่อปรับพีเอชต่ำถึง 4.0 ดังนั้น จึงเลือกใช้กรดซัลฟูริก แต่การทดลองครั้งนี้ ไม่ได้รายงานผลการนำสารส้มออกจาก ตะกอนเบาเหลวและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

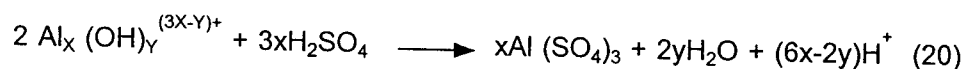
Slechta and Culp (1967) ได้ทำการทดลองในระดับการศึกษานำร่อง (Pilot Scale) เพื่อหาความเป็นไปได้ ของการนำสารส้มออกจากตะกอน และ นำมาใช้ใหม่เป็นสารสร้างตะกอน ในระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูง (Advanced Wastewater Treatment) และ การนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Water Reclamation) เขาได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีอัลคาไลน์ (Alkaline Method) โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับพีเอชให้เป็น 11.9 ซึ่งที่พีเอชนี้ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จะเกิดปฏิกิริยาได้เป็น โซเดียมอลูมิเนต ซึ่งสามารถนำสารส้มออกมาได้ในรูปของโซเดียมอลูมิเนต ประมาณร้อยละ 78-90 แต่ก็พบว่าสารส้มในรูปของโซเดียมอลูมิเนตนี้ ไม่มีผลในการตกตะกอนฟอสเฟตได้ ดังนั้น จึงได้มีการทดลองด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ แต่ค่าใช้จ่ายในกระบวนการนำสารส้มกลับ มีราคาแพงกว่าสารส้มสด จึงได้มีการทำทดลองอีกครั้ง โดยใช้กรดซัลฟูริก ไปลดพีเอชให้เหลือ 2.5 ปรากฏว่าสามารถนำสารส้มออกมาได้ถึง ร้อยละ 90 พบว่า สารส้มที่นำออกมาด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟูริกนี้ สามารถใช้ตกตะกอนฟอสเฟตได้ดีพอ ๆ กับสารส้มสด ค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีที่ใช้และค่าใช้จ่ายในการกรองเอาสารส้มออกมาเป็นเงิน 16.60 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อสารส้มที่นำกลับ 1 ตัน ในขณะที่สารส้มสดมี ราคา 57.40 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ 1 ตัน

Dick (1969) รายงานว่า ได้มีการนำสารส้มออกจากตะกอนเพื่อนำไปใช้ใหม่ของระบบผลิตน้ำประปา ตั้งแต่ต้นคริสต์ทศวรรษที่ 19 โดย F.A.Eidness จาก Black Laboratories Inc. ที่เมืองแทมปา (Tampa) รัฐฟลอริดา โดยใช้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในปี 1903 W.M. Jewell ได้นำสารส้มออกจากตะกอนเพื่อนำไปใช้ใหม่ของระบบผลิตน้ำประปา ในปี 1923 W.R. Mathis ก็ได้รับลิขสิทธิ์สำหรับกระบวนการดังกล่าว ในราวปี 1950 Roberts and Roddy ได้ปรับปรุงบางส่วนของระบบประปา เมืองแทมปา รัฐฟลอริดา มาเป็นโรงงานนำสารส้มกลับเป็น การนำสารส้มกลับจากตะกอนของระบบประปา อย่างจริงจังและเต็มรูปแบบ โดยมีกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการนำสารส้มออกจากตะกอนและนำไปใช้ใหม่
ที่ระบบประปาเมืองแทมปา รัฐฟลอริดา
ที่มา : Merto ,1971

Chen et al. (1976) ได้ทำการศึกษา การนำสารส้มออกจากตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา จากระบบผลิตน้ำประปา 4 แห่ง พบว่า พีเอชที่เหมาะสม ที่จะนำสารส้มออกจากตะกอนได้มากที่สุด จะมีพีเอชตั้งแต่ 3.0 ลงมาถึง 1.0 โดยจะมีปฏิกิริยา ดังนี้



Merto (1971) ได้ทำการศึกษาการนำสารส้มออกจาก ตะกอนเหลวโดยใช้กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงเทคนิคของการแยกสารส้ม จาก Algal Slurry และทดสอบประสิทธิภาพในการใช้ตกตะกอนของสารส้มที่แยกได้ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบระบบสำหรับแยกสารส้ม และ นำกลับมาใช้

Wang and Yang (1978) กล่าวว่า สารส้มสามารถนำออกจากตะกอนได้ในรูปของอลูมิเนียมซัลเฟต โดยการเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และเป็นโซเดียมอลูมิเนต โดยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และคณะ (2533) ได้ทำการศึกษา การนำกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตภัณฑอลูมิเนียม เพื่อนำอลูมิเนียมซัลเฟตกลับมา เพื่อใช้เป็นสารโคแอกกูแลนต์ในระบบประปา ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับตะกอนอลูมิเนียม พบว่า ช่วงพีเอชที่เหมาะสมในการนำกลับ คือ พีเอชน้อยกว่า 1.25 โดยสามารถนำอลูมิเนียมกลับมาได้ประมาณ ร้อยละ 70-90 ของปริมาณอลูมิเนียมที่มีอยู่ในของแข็งทั้งหมด และเมื่อนำสารโคแอกกูแลนต์ที่นำกลับได้นี้ ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น โดยใช้กับตัวอย่างน้ำดิบจากจุดสูบน้ำดิบของการประปานครหลวง ริมแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่า สามารถกำจัดความขุ่นให้ลดลงจากความขุ่นเดิม 33 NTU ให้เหลือต่ำกว่า 3 NTU และ ถ้ามีการควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะใช้สารสร้างตะกอนที่นำกลับน้อยลง ในการกำจัดความขุ่น ทั้งนี้ค่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำที่ทดลอง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่ม ของการประปานครหลวง

หทัยรัตน์ ลิขิตอนุภาค (2535) ได้ทำการศึกษา การนำสารส้มกลับคืนมาเพื่อนำไปใช้ใหม่ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากกองขยะอ่อนนุช ด้วยวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกทำปฏิกิริยากับตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียจากกองขยะ ซึ่งใช้สารส้มในการตกตะกอน พบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการนำสารส้มกลับคืนมาคือ พีเอช 1.5 และประสิทธิภาพการใช้สารส้มที่นำกลับคืนมาใช้ใหม่ร่วมกับสารส้มน้ำบอไซค์ ในปริมาณอลูมินาครั้งหนึ่งของปริมาณที่เหมาะสมจะเป็นกรณีที่เป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำไปใช้จริงได้

จากการศึกษาวรรณกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้วิจัยเห็นว่า การใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอนในการผลิตน้ำประปา ซึ่งทำให้เกิดตะกอนสารเคมีของสารส้มเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และจากคุณสมบัติที่ได้ศึกษา พบว่า สามารถนำสารส้มออกจากตะกอนดังกล่าวได้ ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและสภาวะที่เป็นด่าง แต่วิธีการปรับสภาวะให้เป็นกรด สะดวกกว่าและได้ผลมากกว่า จึงทำให้ผู้วิจัยสนใจและเลือกที่จะศึกษาวิจัย วิธีการนำสารประกอบสารส้มในรูปอนุมินาออกจากตะกอน ในกระบวนการตกตะกอนของระบบผลิตน้ำประปา โดยวิธีการใช้กรดซัลฟิวริกในครั้งนี้