

บทที่ 3

ทฤษฎี แนวความคิด และการทดลองที่ผ่านมา

3.1 ทฤษฎีของกระบวนการรวมตะกอน

ทฤษฎีของกระบวนการรวมตะกอนประกอบด้วยทฤษฎีของกระบวนการโคแอกกูเลชันและทฤษฎีของการสมานตะกอน (หรือ flocculation)

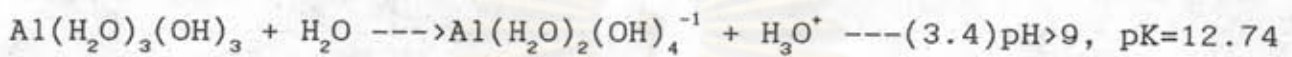
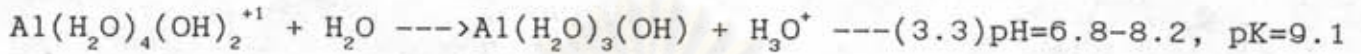
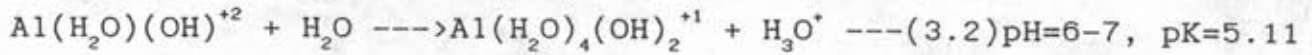
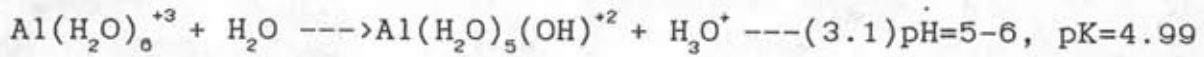
3.1.1 ทฤษฎีกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การกระจายสารโคแอกกูแลนต์ในน้ำให้ทั่วถึง เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำ กลไกทางเคมีที่ใช้ทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ธรรมชาติและความเข้มข้นของคอลลอยด์ ลักษณะทางเคมีของน้ำดิบโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือพีเอช ชนิดและปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ตลอดจนระดับความปั่นป่วนของน้ำ (มันสัน ตันทูลเวศม์, 2526) ปัจจัยดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันอย่างแนบแน่นในกลไกทำลายสภาวะเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่เกิดขึ้น โคแอกกูแลนต์ที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้คือสารส้ม ดังนั้นในที่นี้จึงจะกล่าวถึงกลไกที่เกิดขึ้นในกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มเท่านั้น

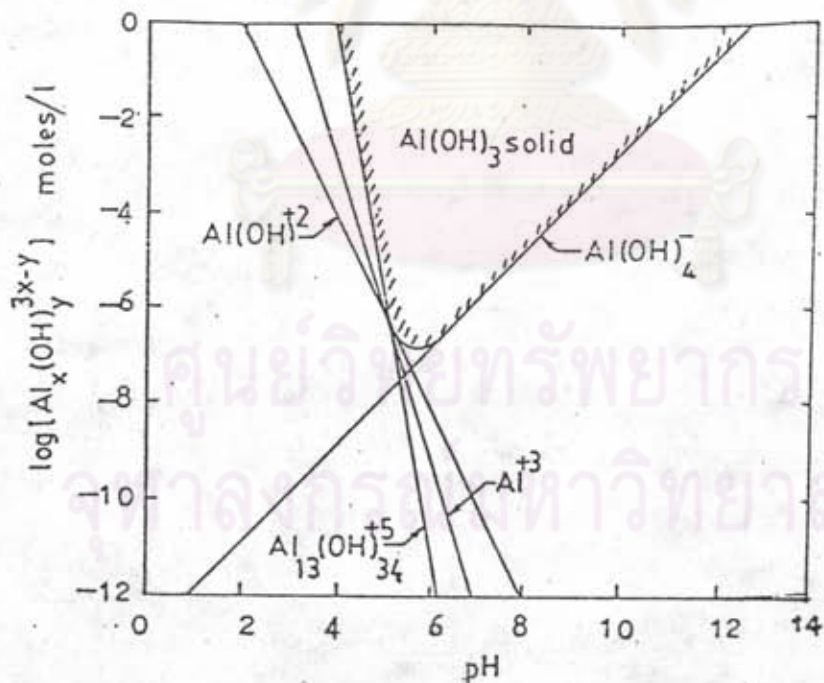
3.1.1.1 บทบาทของสารส้มในน้ำ

เมื่อเติมสารส้มลงในน้ำสารส้มจะแตกตัวเป็นไอออนชนิดประจุบวกและประจุลบ ไอออนลบจะอยู่เป็นอิสระส่วนไอออนบวกจะทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้มีโมเลกุลของน้ำ 6 ตัวเกาะอยู่โดยรอบไอออนบวก ซึ่งเขียนเป็นสูตรเคมีได้เป็น $Al(H_2O)_6^{+3}$ มีชื่อเรียกว่า aquometalion ไอออนนี้มีคุณสมบัติเป็นกรด ดังนั้นมันจึงไม่คงรูปแต่จะจ่ายโปรตอน (H^+) ให้กับน้ำในทันทีทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิด monomeric hydroxo complex

ต่างๆ ดังสมการ 3.1-3.4 (Stum and Morgan, 1962)



ตามความหมายของสมการ 3.1-3.4 ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นอลูมิเนียม [Al] และพีเอช ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวไว้ดังในรูปที่ 3.1 (O'melia, 1972)



รูปที่ 3.1 ความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนของอลูมิเนียมในสภาวะสมดุลที่พีเอชต่างๆหลังจาก (aging) แล้ว (O'melia, 1972)

จากรูปที่ 3.1 ขอบเขตของพื้นที่ที่เป็นตะกอน $Al(OH)_3$ Solid จะ แสดงความเข้มข้นสูงสุดของอลูมิเนียมที่จะละลายได้ที่พีเอชต่างๆ อลูมิเนียมซึ่ง มีความเข้มข้นเกินขอบเขตนี้จะตกตะกอนเป็น $Al(OH)_3$ Solid กราฟ เส้นตรงของสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ แสดงความเข้มข้นสูงสุดที่จะมีได้ของ สารประกอบเชิงซ้อนนั้น ๆ ที่พีเอชต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงกว่าหรือเท่ากับจุดอิ่มตัวที่พีเอชนั้นๆ ถ้าความเข้มข้นของอลูมิเนียมต่ำกว่าจุดอิ่มตัวสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ จะเกิดได้น้อยกว่าค่าที่กราฟแสดง

อย่างไรก็ตามสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นในสมการที่ 3.1 ถึง 3.4 ซึ่งนิยมเขียนสูตรเคมีโดยย่อเป็น $Al(OH)^{+2}$, $Al(OH)_2^{+1}$, $Al(OH)_3$, $Al(OH)_4^{-1}$ ยังมีรูปอื่นๆ ซึ่งมีอัตราส่วนของอลูมิเนียมต่อไฮดรอกไซด์แตกต่างกันออกไปอีก และสามารถทำปฏิกิริยา โพลีเมอไรเซชัน (polymerization) กัน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีอลูมิเนียมมากกว่าหนึ่งได้เช่น $Al_6(OH)_{15}^{+3}$, $Al_7(OH)_{17}^{+4}$, $Al_8(OH)_{20}^{+4}$, $Al_{13}(OH)_{34}^{+5}$ ซึ่งเรียกว่า polymeric hydroxo complex นอกจากนี้ไอออนลบต่างๆในน้ำ เช่น SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , Cl^{-1} ก็สามารถแทนที่โมเลกุลของน้ำในสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนเปลี่ยนรูปและคุณสมบัติไปอีกด้วย (Amirtharajar and Mills, 1982) ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะทราบถึงความเข้มข้นของสารประกอบเชิงซ้อนที่แน่นอนในน้ำตามธรรมชาติ

3.1.1.2 กลไกโคแอกกูเลชันของสารส้ม

สารส้มทำให้เกิดโคแอกกูเลชันโดยกลไกต่างๆดังนี้

1. กลไกลดความหนาของชั้นกระจาย

กลไกนี้เกิดขึ้นโดยการเพิ่มจำนวนไอออนที่มีประจุตรงข้าม (ในที่นี่คือไอออนของ Al ซึ่งมีประจุบวก) กับประจุไฟฟ้าของอนุภาค (มักมีประจุลบ) ทำให้ไอออนประจุบวกที่กระจายอยู่รอบๆอนุภาคไปออบอยู่ใกล้ผิวของอนุภาคมากขึ้นชั้นไอออนที่กระจายอยู่รอบอนุภาคจึงมีความหนาลดลงอันนำไปสู่การจับตัวกัน

ของอนุภาคซึ่ง เป็นต้นเหตุของแรงผลักระหว่างอนุภาคจึงลดลงด้วย

กลไกลดความหนาของชั้นกระจายมักเกิดได้ดีกับไอออนที่มีประจุมาก เช่น $Al(H_2O)_6^{3+}$ และ polymeric Hydroxo Complex ต่างๆ เนื่องจากไอออนที่มีประจุมากเหล่านี้มีโมเลกุลน้ำล้อมรอบอยู่มาก จึงไม่สามารถเข้าถึงผิวอนุภาคได้แต่ก็มีผลลดความหนาชั้นกระจายได้มากกว่าไอออนที่มีประจุน้อย (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2526; O'melia, 1972; Stumm and O'melia, 1968)

ในกรณีที่มีเอชสูงๆ ไอออนของอลูมิเนียมส่วนใหญ่จะเป็นประจุลบซึ่งเหมือนประจุของอนุภาคแขวนลอย การลดอิทธิพลของประจุอนุภาค หรือลดความหนาของชั้นกระจายจึงไม่เกิดขึ้นนอกจากนี้ในกรณีที่มีความเข้มข้นของอนุของอนุภาคสูงมากอนุภาคจะถูกทำลายเสถียรภาพโดยกลไกลดความหนาของชั้นกระจายได้ง่ายขึ้น (Bratby, 1980) ทั้งนี้เนื่องจากไอออนที่มีประจุมากซึ่งเหมาะกับกลไกนี้เกิดในช่วงต้นของปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำให้เกิดการทำลายเสถียรภาพ อนุภาคเบื้องต้นที่ได้จากการทำลายเสถียรภาพนี้อยู่ใกล้กันมากพอที่จะชนกัน เกิดเป็นอนุภาคตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นได้โดยง่ายก่อนที่ไอออนและผลึกจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสช่วงต่อมาจะทำให้เกิดกลไกแบบอื่น

2. กลไกแบบคอลลอยด์และสะเทินทางไฟฟ้า

สารส้มสร้างกลไกแบบคอลลอยด์และสะเทินทางไฟฟ้าโดยการแตกตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประจุชนิดต่างๆ ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทั้งนี้สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้สามารถคอลลอยด์ไปบนผิวของอนุภาคคอลลอยด์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2526; Bratby, 1980; Sanks, 1978) เมื่อสารประกอบเชิงซ้อนเป็นชนิดประจุบวกก็จะลดประจุลบของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งก็จะเป็นการลดเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ลงด้วยเมื่อแรงผลักระหว่างอนุภาคลดลงจนน้อยกว่าแรงวันเคอร์วาลก็จะเกิดการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ขึ้นจนกลายเป็นจุลฟลอคเล็กๆ

ตะกอนที่เกิดจากกลไกโคแอกกูเลชันลักษณะนี้จะสามารถอัดตัวได้แน่นและทำให้แห้งหรือดึงเอาน้ำออกจากตะกอนได้ง่าย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526) ซึ่งจะประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนต่อไป แต่การควบคุมระบบให้ทำงานได้ดีนั้นยากมาก เพราะกลไกชนิดนี้จะให้ผลดีในช่วงพีเอชแคบ ๆ (O'melia, 1972) รวมทั้งมีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนที่พอเหมาะเท่านั้น ถ้าหากมีปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนต่ำไปโคแอกกูเลชันจะไม่เกิด แต่ถ้ามีปริมาณสูงเกินไปสารประกอบเชิงซ้อนจะดูดติดไปที่ผิวของอนุภาคมากจนทำให้อนุภาคเป็นประจุบวกซึ่งก็จะทำให้อนุภาคกลับมีเสถียรภาพใหม่ (restabilization) เนื่องจากประจุบวกนั้นกลับขึ้นมาอีก

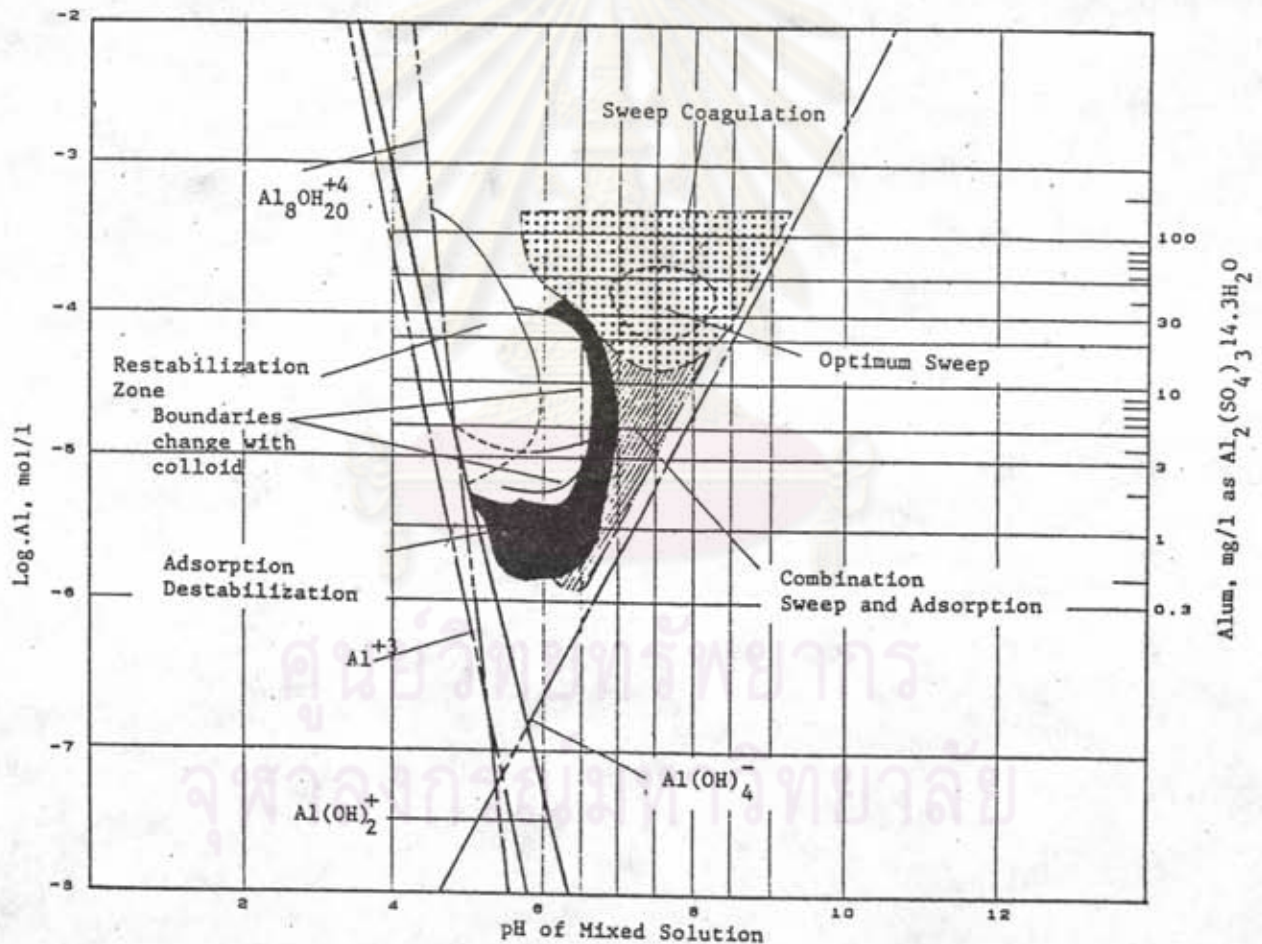
อย่างไรก็ตามกลไกแบบนี้จะต้องเกิดขึ้นและเสร็จสิ้นภายในเวลา 10^{-4} ถึง 1 วินาที สารประกอบเชิงซ้อนต้องดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์ภายในเวลาดังกล่าว มิฉะนั้นสารประกอบเชิงซ้อนจะไฮโดรไลซ์ต่อไปจนเกิดผลึก $Al(OH)_3$ ดังในสมการที่ 3.3 ทำให้เกิดการขจัดความขุ่นด้วยกลไกแบบกวาด ซึ่งจะมีการจับตัวกันระหว่างตะกอนฟล็อก $Al(OH)_3$ และอนุภาคคอลลอยด์ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526) มากกว่าที่จะเป็นแบบดูดติดและสะเทินทางไฟฟ้า ดังนั้นการกระจายสารโคแอกกูแลนต์ในน้ำให้ทั่วถึงจึงเป็นสิ่งสำคัญมากดังได้กล่าวมาแล้ว

3. กลไกแบบกวาด

กลไกนี้เกิดจากการเติมสารส้มจนความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงกว่าจุดอิ่มตัวทำให้เกิดฟล็อกอลูมินัมไฮดรอกไซด์ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2526; Camp, 1985; Steven and James, 1988) ซึ่งฟล็อกนี้สามารถจับตัวกับอนุภาคคอลลอยด์ทำให้อนุภาคคอลลอยด์ไม่แสดงอิทธิพลของประจุไฟฟ้าและเมื่อกวนให้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกละลายเสถียรภาพด้วยกลไกนี้แล้วเกิดการสัมผัสกันก็จะจับตัวกันเป็นจุลฟล็อก (microfloc) สำหรับน้ำที่มีอนุภาคคอลลอยด์น้อยๆ โอกาสที่อนุภาคจะสัมผัสกันก็น้อยด้วย ดังนั้นการเติมสารส้มเพื่อให้เกิดฟล็อกอลูมินัมไฮดรอกไซด์มากขึ้นก็จะเป็นการเพิ่มเป้าสัมผัสให้กับอนุภาคคอลลอยด์และจุลฟล็อก ทำให้เกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

กระบวนการโคแอกกูเลชันที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่ จะใช้กลไกแบบกวาดนี้เพราะเกิดผลดีในช่วงที่เอชกว้าง (Amirtharajar and Mills, 1982) จึงควบคุมง่าย แต่ตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีข้อเสียคืออึดตัวไม่แน่นและดึงน้ำออกยาก (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2526)

Amirtharajar (1982) ได้เสนอหลักการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม ดังแสดงในรูปที่ 3.2 จากรูปแสดงให้เห็นว่า โคแอกกูเลชันด้วยกลไกแบบกวาดจะได้ผลดีที่สุดในที่เอช 6.8 ถึง 8.2 และใช้สารส้ม 20 ถึง 50 มก./ล.



รูปที่ 3.2 โคอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบและควบคุมโคแอกกูเลชันด้วยสารส้ม (Amirtharajar and Mills, 1982)

4. กลไกโคแอกกู เลชั่นแบบร่วม

กลไกโคแอกกู เลชั่นแบบร่วมเป็นการทำลายเสถียรภาพอนุภาคคอลลอยด์ร่วมกันระหว่างกลไกแบบคูดติดผิวและสะเทินทางไฟฟ้ากับกลไกแบบกวาดโดยที่ความแตกต่างระหว่างอิทธิพลของกลไกทั้งสองมีไม่เด่นชัด กล่าวคือในขณะที่เกิดกลไกโคแอกกู เลชั่นแบบกวาด ซึ่งเป็นการทำงานของฟล็อกคูลูมินัมไฮดรอกไซด์นั้น ไม่ได้หมายความว่าในน้ำที่เกิดโคแอกกู เลชั่นจะไม่มีสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆหรือสารประกอบเชิงซ้อนต่างๆไม่ได้ทำงาน เพียงแต่ว่าในสภาวะนั้นสารประกอบเชิงซ้อนสร้างกลไกแบบคูดติดและสะเทินทางไฟฟ้าได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับการทำงานของฟล็อกคูลูมินัมไฮดรอกไซด์

ดังนั้นในบางภาวะเมื่อโคแอกกู เลชั่นมีกลไกทั้งสองชนิดประกอบกันโดยที่ไม่มีกลไกชนิดหนึ่งชนิดใดมีอิทธิพลสูงกว่ากลไกอีกชนิดหนึ่งจนกลไกชนิดหนึ่งไม่มีนัยสำคัญแล้ว จึงจัดว่าเป็นกลไกโคแอกกู เลชั่นแบบร่วม

3.1.2 ทฤษฎีของการสมานตะกอน

กระบวนการฟล็อกคูลูเลชั่นหรือสมานตะกอนเป็นการทำให้อนุภาคคอลลอยด์ซึ่งถูกทำลายสภาวะเสถียรแล้วเกิดชนกัน และรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ปรัชญาการณซึ่งทำให้เกิดกระบวนการฟล็อกคูลูเลชั่นอาจจำแนกออกเป็นสามประเภท (O'melia, 1972) ได้แก่ การเคลื่อนที่เนื่องจกความร้อน (thermal motion), การจมตัวด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน (differential settling) และการเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว (bulk fluid motion) ปรัชญาการณแต่ละประเภทมีพฤติกรรมที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

3.1.2.1 การเคลื่อนที่เนื่องจกความร้อน

ความร้อนภายในน้ำซึ่งแปรรูปเป็นพลังงานจลน์สามารถทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและชนอนุภาคที่กระจายอยู่ในน้ำ ลักษณะเช่นนี้ทำให้อนุภาคมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม(random motion) และเกิดการชน

หรือสัมผัสระหว่างอนุภาคขึ้น การสมานกันระหว่างกลุ่มของอนุภาคภายหลัง การสัมผัสทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น

การสมานตะกอนในลักษณะดังกล่าวมานี้เรียกว่า การสมานตะกอนแบบเพอริไคเนติก (perikinetic flocculation) อัตราการสมานตะกอนแบบเพอริไคเนติกขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งคืออุณหภูมิและขึ้นกับจำนวนของอนุภาค การสมานตะกอนประเภทนี้มีอัตราสูงเมื่ออนุภาคมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 ไมครอน และจะลดลงเหลือ้น้อยมากเมื่ออนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นจนใหญ่กว่า 1 ไมครอน (O'melia, 1972)

3.1.2.2 การจมตัวด้วยอัตราเร็วแตกต่างกัน

การสมานตะกอนโดยปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นในน้ำที่อยู่ในสภาวะสถิตย์หรือปราศจากความปั่นป่วน (Static or non-turbulent fluid) โดยอนุภาคตะกอนที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีความเร็วในการจมตัวสูงกว่าอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้เกิดความเร็วมัธยัสถ์และการชนรวมทั้งสมานกันขึ้นในระหว่างการจมตัว การสมานตะกอนโดยการจมตัวด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันดังกล่าวนี้ โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นในถังทำน้ำใสแบบชั้นสลัดจ์ (sludge blanket clarifier) และในถังตกตะกอนแนวตั้งทั่วไป

3.1.2.3 การเคลื่อนที่ของเนื้อของเหลว

เมื่อมีการกวนเกิดขึ้นในเนื้อของเหลว ความเร็วในการเคลื่อนที่ของน้ำมวลหนึ่งๆจะแปรไปตามตำแหน่งและเวลา อนุภาคซึ่งเคลื่อนที่ไปกับมวลน้ำนั้นๆก็จะมีความเร็วแตกต่างกันไปด้วย ทำให้เกิดโอกาสการชนและสมานตัวกันมากที่สุด การสมานตะกอนที่เกิดจากปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า การสมานตะกอนแบบออร์โธไคเนติก (orthokinetic flocculation) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการสมานตะกอนโดยพิจารณาจากขนาดอนุภาคปรากฏว่าการสมานตะกอนประเภทนี้มีอัตราสูงกว่าการสมานตะกอนแบบเพอริไคเนติกมากเมื่อ

อนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 1 ไมครอน (O'melia, 1972)

โดยทั่วไปอนุภาคที่ไม่เสถียรและถูกนำส่งมาอยู่ในขั้นตอนการสมานตะกอนมีขนาดตั้งแต่ 100 ถึง 2000 ไมครอน ดังนั้นกลไกหลักในขั้นสมานตะกอนของกระบวนการโคแอกกูเลชันจึงได้แก่ กลไกแบบออร์โธโคเนติก (O'melia, 1972)

ในทางปฏิบัติสำหรับระบบบำบัดน้ำทั่วไปปัจจัยที่ได้รับพิจารณาใช้ในการออกแบบ และควบคุมการทำงานของขั้นสมานตะกอน คือ ความเร็วเกรเดียนท์ G (velocity gradient) และเวลาดักน้ำ t (hydraulic residence time) พารามิเตอร์ G และ t มีบทบาทโดยตรงในการกำหนดประสิทธิภาพของการสมานตะกอน นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลต่อขนาดและลักษณะทางกายภาพของตะกอนกล่าวคือ ตะกอนจะมีขนาดจำกัดที่ค่า G หนึ่งๆ (Gregory, 1977; Kawamura, 1973; Kawamura, 1976) ขนาดตะกอนจะแปรตาม t ในขณะที่แปรกลับกับค่า G (Andrew-Villegas and Letterman, 1974; Camp, 1955; Kawamura, 1976; Mhaisalkar et al., 1991) อย่างไรก็ตาม แม้ว่า G สูงๆจะทำให้ขนาดตะกอนเล็กแต่ตะกอนที่ได้จะมีความหนาแน่นมากกว่าตะกอนใหญ่ที่เกิดขึ้นภายใต้ค่า G ที่ต่ำกว่า (วริษฐ มงคลศรี, 2526; Kawamura, 1976; Lin, 1982; Tambo and Watanabe, 1978)

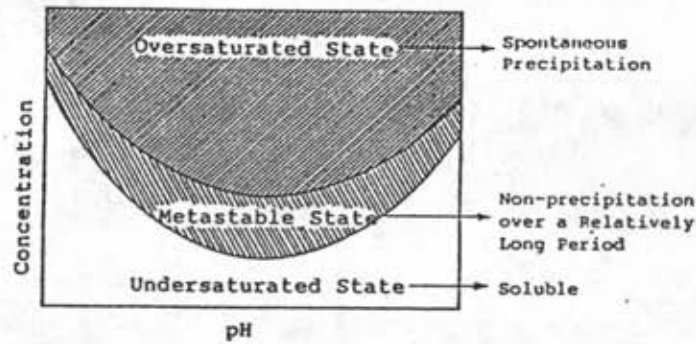
3.1.3 การใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนต์เอค

หลังจากการเติมโคแอกกูแลนต์ เช่น สารส้ม ลงในน้ำดิบแล้วจะมีการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคจนได้อนุภาคเบื้องต้นที่พร้อมจะรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ การเติมสารโพลีเมอร์หลังจากเกิดอนุภาคเบื้องต้น จะช่วยให้การสมานตะกอนเกิดได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของโพลีเมอร์จะเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคเบื้องต้นเหล่านี้ให้รวมตัวกันได้เร็วและเกิดเป็นอนุภาคตะกอนที่มีความแข็งแรงมากขึ้น (Gregory, 1979; Mayhew

and Raman, 1984; Schwayer, 1981) และเนื่องจากมิได้มุ่งหวังที่จะใช้ โพลีเมอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นสารโคแอกกูแลนต์โดยตรง จึงไม่นิยมใช้โพลีเมอร์ ประจุบวก ดังนั้นโคแอกกูแลนต์เอคที่ใช้หลังจากการเติมสารส้มจึงมักเป็นพวก โพลีเมอร์ไม่มีประจุ หรือโพลีเมอร์ประจุลบ เพราะโพลีเมอร์เหล่านี้มีโมเลกุล ใหญ่ เหมาะที่จะใช้เป็นสะพานเชื่อมอนุภาคเบื้องต้นเพื่อให้ได้ฟล็อกที่แข็งแรง มีน้ำหนักมาก แยกออกจากน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามพบว่าโพลีเมอร์ไม่มีผลต่อ ความหนาแน่นของฟล็อก (Lagavanker and Gemmell, 1968; Tambo and Watanabe, 1978)

3.2 สมมติฐานเบื้องต้นของการกำจัดความขุ่นโดยการสร้าง เม็ดตะกอนแบบไหลขึ้น

กระบวนการสร้างเม็ดตะกอนหรือ Pellet-Floc นี้ยังมีคำอธิบาย ที่แตกต่างกันและมีความสับสนในความหมายอยู่มาก (Graveland et al., 1983; Tambo and Matsui, 1978; Yusa and Gaudin, 1963; Yusa et al., 1975) สมมติฐานหนึ่งในคำอธิบายเหล่านี้คือ เม็ดตะกอนจะสามารถ เกิดขึ้นได้ในขณะที่สารละลายอยู่ในสภาวะเสถียรแบบเมตะ (metastable state) กล่าวคือ ในสภาวะดังกล่าวความเข้มข้นของสารจะมากกว่าอัตรา การละลายได้ของสาร แต่ก็ไม่มากพอที่จะเกิดสภาวะเกินอิ่ม (supersatura- tion) และก่อรูปเป็นของแข็ง (solid state) ดังนั้น สารละลายจึงไม่ เกิดการก่อรูปเป็นของแข็ง (precipitation) หรือถ้าเกิดก็น้อยมากแม้ว่าจะ ปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ (ดูรูป 3.3) แต่เมื่อมีการเติมสารชนิดเดียวกับสาร ละลายนั้นและอยู่สภาวะของแข็ง (solid phase) ด้วย ให้เพิ่มเข้าอยู่ในสาร ละลายที่อยู่ในสภาวะเสถียรแบบเมตะจะทำให้สารละลายเหล่านั้นเกิดการจับตัว กันเป็นของแข็งบนพื้นที่ผิวของของแข็งที่เติมลงไปอย่างรวดเร็ว และมีการรวม ตัวกันเป็นของแข็งใหญ่ขึ้นทันที (Tambo and Matsui, 1987)



รูปที่ 3.3 สถานะของสารละลายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นและพีเอชต่างกัน (Tambo and Matsui, 1987)

ด้วยหลักการนี้เองเราสามารถนำไปตัดแปลงเป็นกระบวนการกำจัด-ความขุ่นโดยการสร้างเม็ดตะกอน ทั้งนี้โดยสร้างสภาวะเสถียรแบบเมตะให้เกิดขึ้นในระบบ กล่าวคือ เมื่อเติมสารโคแอกกูแลนต์ลงไปในน้ำขุ่นจะทำให้อนุภาคที่อยู่ในน้ำถูกทำลายเสถียรภาพเกิดเป็นจุลฟล็อก แต่เนื่องจากจุลฟล็อกเหล่านี้ยังมีขนาดและ/หรือความเข้มข้นไม่มากพอที่จะเกิดการจับตัวกันได้เอง แต่เมื่อทำให้จุลฟล็อกเหล่านี้เข้าไปรวมอยู่กับเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงภายในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน ก็จะเกิดการจับตัวกันระหว่างจุลฟล็อกกับเม็ดตะกอนเหล่านั้นโดยเป็นการจับตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (one by one attachment) ทำให้ไม่มีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ภายในหรือมีน้อยมาก จึงเกิดเป็นเม็ดตะกอนที่มีความหนาแน่นสูง (Tambo and Matsui, 1987)

Yusa, Suzuki และ Tanaka (1975) ได้อธิบายไว้ถึงกลไกที่เกิดขึ้นในระหว่างการจับตัวกันของอนุภาคซึ่งทำให้ได้เป็นเม็ดตะกอนที่กลม และแน่นนั้นว่า โดยปกติแรงดันภายนอกเม็ดฟล็อก (หมายถึงเม็ดฟล็อกปกติที่มีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ภายใน) กระทำต่อเม็ดฟล็อกอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง ทุกทาง แรงดันภายนอกเหล่านี้มีความสมดุลกับแรงดันเนื่องจากของเหลวหรือน้ำภายในฟล็อก ฟล็อกจึงอยู่ในสภาพคงตัว ในทางตรงกันข้ามหากมีแรงดันภายนอกเม็ดฟล็อกกระทำต่อเม็ดฟล็อกอย่างไม่สม่ำเสมอ และแรงยึดเกาะกันภายในอนุภาคตะกอนหรือจุลฟล็อก (microfloc) แข็งแรงกว่าแรงกระทำภายนอกของเหลวภายในเม็ดฟล็อกจะถูกขับออกมาตรงจุดที่แรงกระทำภายนอกมีค่าน้อยที่สุด โมเลกุลของน้ำที่แทรกอยู่ภายในเม็ดฟล็อกจะลดจำนวนหรือปริมาณลง อนุภาคตะกอนที่อยู่ในเม็ดฟล็อกจึงเคลื่อนตัวเข้ามาชิดกันและอัดตัวกันได้มากยิ่งขึ้น

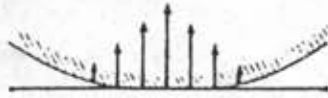
ดังนั้นฟลોકที่เกิดขึ้นจึงมีความหนาแน่นสูง ตกตะกอนได้เร็วกว่าฟลอคธรรมดาทั่วไป (Yusa et al., 1975)

สรุปได้ว่าการสร้างเม็ดตะกอนจะต้องมีการให้พลังงานกลจากภายนอกเข้าสู่ระบบ ซึ่งก็คือการทำให้เกิดสภาวะไม่สมดุลบนเม็ดฟลอคปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นได้โดยอาศัยเทคนิค 2 อย่างคือ เทคนิคการกลิ้งฟลอคไปบนพื้นผิวเรียบหรือโค้ง และเทคนิคการผลึกเม็ดฟลอคให้ชนกันเองหรือผลึกเม็ดฟลอคให้ชนกับพื้นผิวเรียบหรือผิวโค้ง ซึ่งอธิบายโดยละเอียดได้ดังนี้

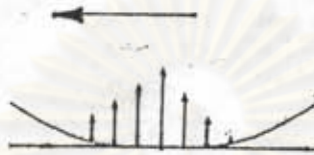
3.2.1 เทคนิคการกลิ้ง (Rolling Technique)

สมมติว่าเม็ดฟลอคอยู่ในสภาพอีลาสติก (elastic) คือมีความหยุ่นตัว และให้เม็ดฟลอคสัมผัสกับพื้นผิวที่จุดๆ หนึ่งซึ่งเป็นพื้นผิวที่เลือกๆ แรงกระทำที่จุดนั้นมีค่าน้อยมากจนไม่ทำให้ฟลอคเปลี่ยนรูปร่างหรือเกิดการยุบตัว ณ จุดสัมผัส ถ้าเม็ดฟลอคอยู่นิ่ง ๆ เราจะสามารถเขียนรูปแสดงการกระจายแรงดันที่เกิดรอบผิวฟลอคได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 กล่าวคือแรงดันภายนอกมีค่าสูงสุด ณ บริเวณจุดกึ่งกลางของพื้นผิวสัมผัสซึ่งเป็นจุดที่ฟลอคจะเกิดการยุบตัวมากที่สุด และแรงดันภายนอกจะค่อย ๆ ลดลง เมื่ออยู่ห่างออกไปจากจุดสัมผัสตามลำดับ

หากมีการกลิ้งเม็ดฟลอคไปข้างหน้าจุดที่มีแรงดันภายนอกสูงสุดก็จะกลายเป็นจุดสัมผัสถัดไปทางข้างหน้าของตำแหน่งเดิม ถ้ากลิ้งเม็ดฟลอคไปข้างหน้าเรื่อย ๆ จุดที่มีค่าแรงดันสูงสุดก็จะเปลี่ยนตำแหน่งไปข้างหน้าเรื่อยๆ จนครบรอบ ซึ่งสามารถเขียนรูปแสดงการกระจายแรงกระทำภายนอกที่มีต่อเม็ดฟลอคได้ดังรูปที่ 3.5 อันแสดงให้เห็นว่าการกลิ้งฟลอคไปบนพื้นผิวเรียบหรือโค้งทำให้แรงซึ่งกระทำต่อฟลอคไม่สม่ำเสมอ ฟลอคจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation) เป็นผลให้หน้าซึ่งแทรกอยู่ภายในเม็ดฟลอคถูกรีดออกมาดังกล่าวข้างต้น



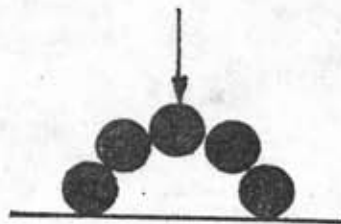
รูปที่ 3.4 การกระจายของแรงเมื่อฟลોકหยุดนิ่ง (Yusa et al., 1975)



รูปที่ 3.5 การกระจายของแรงเมื่อฟลอคเคลื่อน (Yusa et al., 1975)

3.2.2 เทคนิคการชน (Collision Technique)

หากสามารถบังคับให้ฟลอคขนาดเล็กวิ่งเข้ามาชนกันหรือวิ่งเข้าชนพื้นผิวเรียบหรือโค้ง ผลที่เกิดขึ้นก็คือช่องว่างภายในฟลอคลดน้อยลงและฟลอคจะบีบเกาะกันอย่างแข็งแรงขึ้น เนื่องจากการชนกันนั้นทำให้เกิดมีแรงกระทำที่ภายนอกเม็ดฟลอค เป็นผลให้เกิดแรงเสียดระหว่างอนุภาคเล็กๆภายในฟลอค ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคเล็ก ๆ ขึ้นใหม่ในลักษณะที่ชิดกัน เป็นผลให้ช่องว่างภายในฟลอคลดลง น้ำที่แทรกอยู่ภายในเม็ดฟลอคจึงถูกรีดออกมา (ดูรูปที่ 3.6, 3.7)



รูปที่ 3.6 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟลอคก่อนชน (Yusa et al., 1975)



รูปที่ 3.7 การจัดเรียงของอนุภาคภายในฟล็อกหลังชน (Yusa et al., 1975)

3.3 หลักการของการสร้างเม็ดตะกอน

การสร้างเม็ดตะกอนให้เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดความขุ่น จำเป็นจะต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เกิดการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ ซึ่งเกิดขึ้นในถังกวนเร็วและส่วนสร้างเม็ดตะกอนจากคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้ว ซึ่งเกิดขึ้นในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอน (pelletizer) ซึ่งในที่นี้จะใช้แบบไหลขึ้น

กระบวนการสร้างเม็ดตะกอนนั้นเริ่มโดยการเติมโคแอกกูแลนต์ชนิดโลหะ (metal coagulant) เช่น เกสืออลูมิเนียม (aluminum salts) ในการทดลองนี้เลือกใช้สารส้มเติมลงไปในถังกวนเร็วเพื่อทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ในขั้นตอนนี้อนุภาคคอลลอยด์ที่ถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจะเกิดการรวมตัวกันจนกลายเป็นจุพลีออค (microflocs) อนึ่ง ที่บริเวณล่างสุดของอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นจะมีการเติมโพสิเมอร์ที่มีประจุลบผสมกับน้ำซึ่งถูกทำลายเสถียรภาพแล้วจากถังกวนเร็วเพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงในการเกาะติดกันให้กับจุพลีออค ซึ่งจะได้เม็ดตะกอนที่แกร่งและมีความหนาแน่นสูง (Tambo and Matsui, 1987) เนื่องจากไม่มีโมเลกุลน้ำแทรกภายในฟล็อกหรือมีน้อยมากนั่นเอง

หลังจากนั้นการกวนช้าด้วยความเร็วเกรเดียนต์ปานกลาง (moderate agitation) จะช่วยป้องกันมิให้เกิดการโตแบบสุ่มของฟล็อก (random growth) กล่าวคือ ความปั่นป่วนของน้ำจะทำให้ฟล็อกหลวม

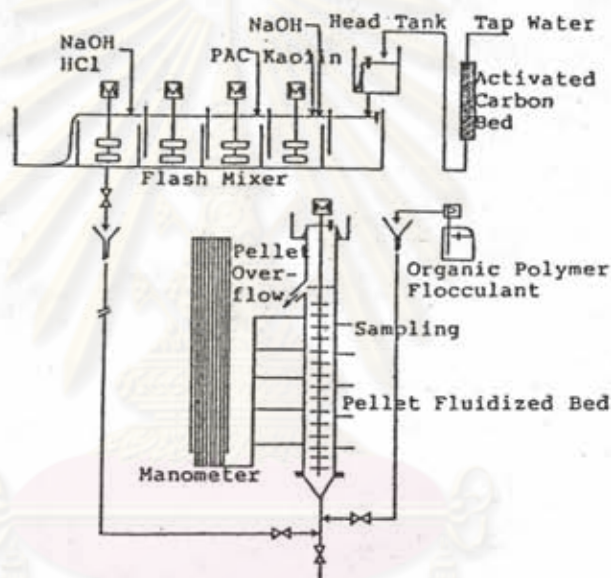
(loose flocs) ที่รวมตัวกันอย่างไม่แน่น แยกออกจากกัน แล้วเคลื่อนตัวไปสัมผัสกับจุลพลีอก เกิดการรวมตัวกันแบบหนึ่งต่อหนึ่งอีกครั้ง ได้เป็นเม็ดตะกอนทรงกลม แกร่ง มีความหนาแน่นสูง สามารถทนต่อความปั่นป่วนของน้ำได้ดี นอกจากนี้พบว่าเม็ดตะกอนขนาดเล็กจะอยู่ส่วนบน และขนาดใหญ่จะอยู่ส่วนล่างของอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นนี้ (Tambo and Matsui, 1987) ทั้งนี้เพราะเม็ดตะกอนขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากกว่านั่นเอง

3.4 การศึกษาที่ผ่านมา

Yusa และ Gaudin (1964) ได้ทำการทดลองโดยใช้ hydrolyzed polyacrylamide (HAPM) เป็นโคเอกกูแลนต์เติมลงไปลงในน้ำสังเคราะห์จากดินคาโอสิน ให้สารโคเอกกูแลนต์มีความเข้มข้น 0.1% กวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องกวนผสม จากนั้นจึงนำน้ำดังกล่าวไปใส่ในหลอดแก้วปลายปิดขนาด 100 มล. จำนวน 2 หลอด โดยหลอดแรกเรียกว่า shaking mixer ซึ่งจะนำไปเขย่าอย่างรุนแรง (violent shaking) ในทิศทางตามแนวแกนยาวของหลอดด้วยอัตรา 5 ครั้งต่อนาที แต่ละครั้งมีระยะแอมพลิจูด 9 ซม. ในระยะเวลาที่กำหนด ส่วนหลอดที่สองเรียกว่า rotating mixer จะนำไปทำให้เกิดการผสมอย่างเบาๆ (gentle mixing) โดยการหมุนหลอดดังกล่าวให้แกนหมุนทำมุม 90 องศากับแกนของหลอดแก้ว ผลการทดลองพบว่า ในทั้งสองกรณีจะเกิดพลีอกที่มีลักษณะคล้ายเม็ดตะกอน (pellet-like flocs) ทั้งนี้คาดว่า การกวนผสมโดยวิธีเขย่าจะทำให้โมเลกุลน้ำที่อยู่ในเม็ดพลีอกถูกขับออกมาก พลีอกที่ได้จึงมีลักษณะกลมแกร่ง และมีความหนาแน่นสูงจนสามารถใช้ตะแกรงแยกพลีอกออกมาจากน้ำได้

Tambo และ Matsui (1987) ได้ทำการทดลองกำจัดความขุ่นสังเคราะห์จากดินคาโอสิน ที่ระดับความเข้มข้นของสารแขวนลอยเท่ากับ 3,000 มก./ล. โดยใช้โพลีลูมินิมคลอไรด์เป็นโคเอกกูแลนต์และใช้โพลีเมอร์ประจุลบเป็นโคเอกกูแลนต์เอ็ด แต่มิได้บอกถึงปริมาณ (dose) ที่ใช้ทำการทดลอง โดยใช้อุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนดังในรูป 3.8 ในการทดลองนี้ เขาได้กำหนดให้

ความเร็วน้ำไหลขึ้นในอุปกรณ์สร้างเม็ดตะกอนเท่ากับ 30 เซนติเมตรต่อนาที และเวลากักน้ำ 5 นาที ผลการทดลองพบว่า เกิดเม็ดตะกอนรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นสูงและสามารถตกตะกอนได้ง่ายโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนและน้ำที่ผ่านการบำบัดความขุ่นแล้วมีความใสมาก คือมีระดับความเข้มข้นของสารแขวนลอยเหลือประมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือมีประสิทธิภาพการลดสารแขวนลอยสูงถึงร้อยละ 99.96



รูปที่ 3.8 แบบจำลองที่ใช้ในการทดลองของ Tambo และ Matsui (Tambo and Matsui, 1987)

Benschoten และ Edzwald (1990 A) ได้ทำการศึกษาโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้มและโพสโอดูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ แล้วทำการเปรียบเทียบผลที่ได้หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของโคแอกกูแลนต์ทั้งสองตัว การทดลองทั้งหมดใช้วิธีจาร์เทสต์ (jar test)

ซึ่งมีวิธีการทำโดยใส่น้ำตัวอย่างซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียสและปรับให้มีค่าพีเอชประมาณ 4 โดยใช้ 0.1 N HCl ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. จากนั้นจึงเติมโคแอกกูแลนต์ให้มีค่าความเข้มข้นของอลูมิเนียมเท่ากับ 13.5 มก./ล. แล้วจึงปรับค่าพีเอชของน้ำด้วย 0.1 N NaHCO₃ และ/หรือ NaOH จนได้ค่าพีเอชที่ต้องการ แล้วนำไปเข้าเครื่องกวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที ทำเช่นนี้ที่ละบีกเกอร์จนครบทั้ง 6 บีกเกอร์โดยแต่ละบีกเกอร์จะมีพีเอชต่างกัน เมื่อครบแล้วจึงปรับความเร็วรอบให้เหลือ 20 รอบต่อนาที แล้วทำการกวนช้าพร้อมกันทั้ง 6 บีกเกอร์ เป็นเวลา 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนอีก 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำน้ำใสที่ได้มาวิเคราะห์ โดยการวัดค่าพีเอช, อุณหภูมิ, ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำ (dissolved aluminum), ความขุ่นตกค้าง และ Electrophoretic Mobility, EPM จากนั้นจึงทำการทดลองเหมือนข้างต้นทั้งหมดอีก แต่คราวนี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 4 องศาเซลเซียส โดยใช้อ่างปรับอุณหภูมิ (thermostatically controlled water bath)

ผลการทดลองสรุปได้ว่าจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของอลูมิเนียมในน้ำ เนื่องจากสารสัมพบว่า อลูมิเนียมจะแสดงรูปแบบของโมโนเมอร์ (monomer) เกือบทั้งหมด ส่วนอลูมิเนียมสำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์จะแสดงในรูปแบบของโพลีเมอร์ (polymer) ถึง 90%

ต่อมาเขาได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความแตกต่างของสารสัมและโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์เมื่ออยู่ในสภาวะของแข็ง (solids phase) โดยทำให้เกิดการตกตะกอนด้วยการไตเตรทสารละลายโคแอกกูแลนต์ทั้งสองตัวด้วย NaOH จนมีพีเอช 7.5 จากนั้นจึงละลายตะกอนที่เกิดขึ้นด้วยกรดจนมีพีเอชเท่ากับ 4 แล้วทำการตรวจสอบผลทันที พบว่ารูปแบบของอลูมิเนียมที่เกิดจากการละลายตะกอนใหม่อีกครั้งหนึ่งสำหรับสารสัมยังคงเป็นโมโนเมอร์ แสดงว่าตะกอนที่เกิดจากสารสัมคืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ส่วนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์จะแสดงรูปแบบของโพลีเมอร์ประมาณ 90% เหมือนกับตอนก่อนทำให้เกิดตะกอน ซึ่งให้เห็นว่าขณะตกตะกอนโพลีอลูมิเนียมคลอไรด์ยังคงรักษาสภาพโพลีเมอร์ของอลูมิเนียมไว้ได้ และยังสามารถได้ว่าตะกอนของสารสัมมีขนาด (25-100 ไมโครเมตร) ใหญ่กว่า

ตะกอนของโพลีลูมินัมคลอไรด์มีลักษณะ เป็นปุยเกาะกันไม่แน่น ส่วนตะกอนของโพลีลูมินัมคลอไรด์ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็ก (<25 ไมโครเมตร) มีลักษณะกลมเกาะติดกันเป็นกลุ่ม ที่พีเอชมากกว่า 9 ขึ้นไปตะกอนของโพลีลูมินัมคลอไรด์ที่ได้จึงจะเหมือนกับตะกอนที่เกิดจากสารส้ม นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิจึงมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้มมาก เพราะทำให้ไฮดรอกซิลไอออนในน้ำเปลี่ยนแปลง แต่จะมีผลกระทบต่อปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของโพลีลูมินัมคลอไรด์ น้อยมาก

ต่อมาทำการทดลองเพื่อแยก FA (Fulvic Acid) ซึ่งอยู่ในรูปสารละลายออกจากน้ำโดยวิธีการตกตะกอนและใช้สารส้มกับโพลีลูมินัมคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ดำเนินการทดลองเป็น 3 แบบด้วยกันคือ

1. Small Scale Jar Test โดยใช้ น้ำซึ่งมี FA อยู่ 2, 5, 10 มก. ตีไอซี/ล. ปริมาณ 200 มล. ที่อุณหภูมิห้อง (22.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส) ดำเนินการทดลองโดยใช้วิธีจาร์เทสต์เหมือนกับตอนแรกทุกประการ แล้วนำน้ำใสที่ได้มาวัดค่าพีเอช, อุณหภูมิ, การดูดกลืนแสงยูวี (254 นาโนเมตร), ปริมาณอลูมิเนียมที่ละลายน้ำ (dissolved aluminum), ความขุ่นตกค้าง และ Electrophoretic Mobility, EPM ผลการทดลองพบว่า สารส้มสามารถกำจัด FA ออกจากน้ำได้ดีกว่าโพลีลูมินัมคลอไรด์เล็กน้อย และที่พีเอช 7 ทั้งสองตัวจะสามารถแยก FA ออกจากน้ำได้ดีกว่าที่พีเอช 5 ประมาณ 8-11% แต่จะใช้ปริมาณมากกว่าถึง 2 เท่า และเพื่อใช้ในปริมาณที่เหมาะสม หากต้องการประสิทธิภาพในการกำจัด FA ตั้งแต่ 80% ขึ้นไป จะต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-7 เหมือนกัน

2. Larger Scale Studies ทำการทดลองจาร์เทสต์โดยใช้ถังรวมตะกอนชนิด 21. Wagner แทนโดยกำหนดตัวแปรอิสระสำหรับการทดลองนี้คือ ชนิดของโคแอกกูแลนต์ (สารส้มและโพลีลูมินัมคลอไรด์), พีเอช (5.5 และ 7), ตีไอซี (2 และ 10 มก./ล.) และอุณหภูมิ (4 และ 22 ± 1 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่า ทั้งสารส้มและโพลีลูมินัมคลอไรด์จะกำจัด FA ในน้ำ (โดยการวัดค่าตีไอซี) ที่พีเอช 7 ได้ดีกว่าที่พีเอช 5.5 และพบว่าโพลีลูมินัมคลอไรด์จะกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าสารส้มทั้งที่พีเอช 7 และที่พีเอช

5 ส่วนที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสจะพบว่าความขุ่นตกค้างมีค่าสูงแต่ฟล็อกยังคงตกตะกอนได้ดี ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเกิดการหมุนเวียนของมวลน้ำเนื่องจากอุณหภูมิ

3. Complexation Studies ทำการทดลองโดยใช้ 200 มล. ของ FA ที่ความเข้มข้น 2 มก./ล. ปรับค่าพีเอชให้ได้ 5 หรือ 7 แล้วเติมสารส้ม หรือโพสเฟอรัสคลอไรด์ให้มีความเข้มข้น 0.2, 0.5 หรือ 1.0 มก. อลูมิเนียม/มล. ของ FA หลังจากเติมโคแอกกูแลนต์แล้วจึงปรับค่าพีเอชให้ได้ตามต้องการ จากนั้นจึงทำการกรองสารละลายทันทีด้วยตะแกรงขนาด 0.22 ไมโครเมตร แล้วทำการวิเคราะห์ Al speciation, พีเอช, การดูดกลืนแสงยูวี ผลการทดลองพบว่า แนวโน้มของการเกิด Al complexation เนื่องจากโพสเฟอรัสคลอไรด์และสารส้มเหมือนกันที่พีเอชเดียวกัน ที่พีเอช 5 พบว่าจะเกิด Al complexation เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์เพิ่มขึ้น ส่วนที่พีเอช 7 พบว่าจะเกิด Al complexation น้อยลงเมื่อความเข้มข้นของโคแอกกูแลนต์เพิ่มขึ้น

จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าสารส้มมีความแตกต่างจากโพสเฟอรัสคลอไรด์ กล่าวคือเมื่อมีการแตกตัวในน้ำ โพสเฟอรัสคลอไรด์จะแสดงรูปแบบส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโพสเฟอเมอร์ ส่วนสารส้มจะแสดงรูปแบบของโมโนเมอร์ และยังคงอยู่ในสถานะของแข็งที่แตกต่างกัน จึงน่าจะให้ผลการเกิดโคแอกกูแลนต์ที่แตกต่างกันด้วยดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์เพื่อกำจัดความขุ่นในกระบวนการสร้างเม็ดตะกอนแบบไหลขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้โพสเฟอรัสคลอไรด์เป็นโคแอกกูแลนต์ในกระบวนการดังกล่าวซึ่งมีผู้เคยทำการทดลองมาแล้ว