

ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล

ผลการทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ผลการทดลองเพื่อใช้อุปกรณ์เบลนเดอร์ และผลการทดลองเพื่อใช้จารีทเทศท์ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยแปรค่าความเร็วแรงแยงที่ความปั่นเริ่มต้น พีเอชสุดท้าย และปริมาณสารส้ม (ดูตาราง พ.1)

การทดลองดังกล่าวนี้ เป็นการทบทวนถึงผลของความเร็วแรงแยงที่ มีต่อกลไกโคแอกกูเลชัน และพิจารณาถึงความเหมาะสม ของอุปกรณ์จารีทเทศท์ ที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

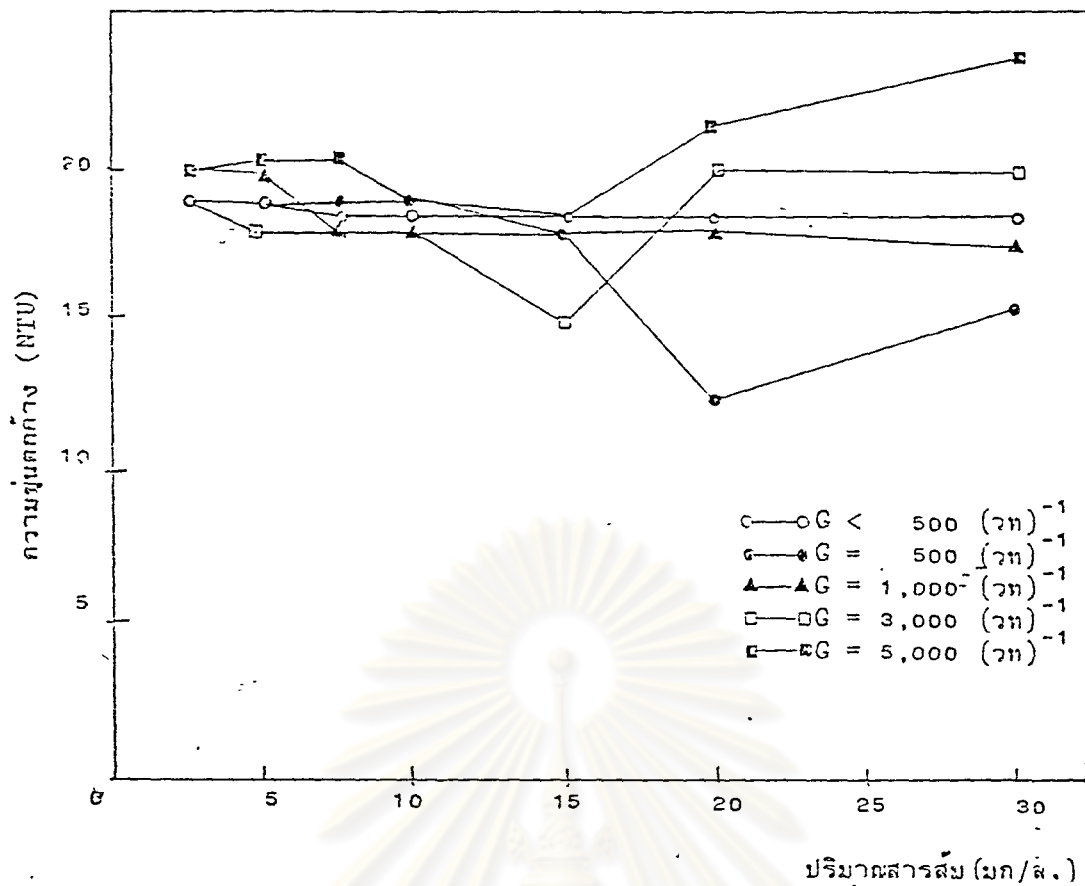
ดังนั้น การวิจารณ์ผลจึงมุ่งถึงอิทธิพลของความเร็วแรงแยงที่เป็นสำคัญ

การศึกษาผลของความเร็วแรงแยงที่ในการควบคุมกลไกโคแอกกูเลชัน โดยการพิจารณาการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน ที่ค่าความเร็วแรงแยงที่ต่าง ๆ โดยการแปรค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ที่ค่าความเร็วแรงแยงที่หนึ่ง ๆ นำผลที่ได้มากำหนดขอบเขตของการเกิดกลไก โดยอาศัยไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม เพื่อพิจารณาผลของความเร็วแรงแยงที่ ที่มีต่อกลไกโคแอกกูเลชันในที่สุด

5.1 การเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน

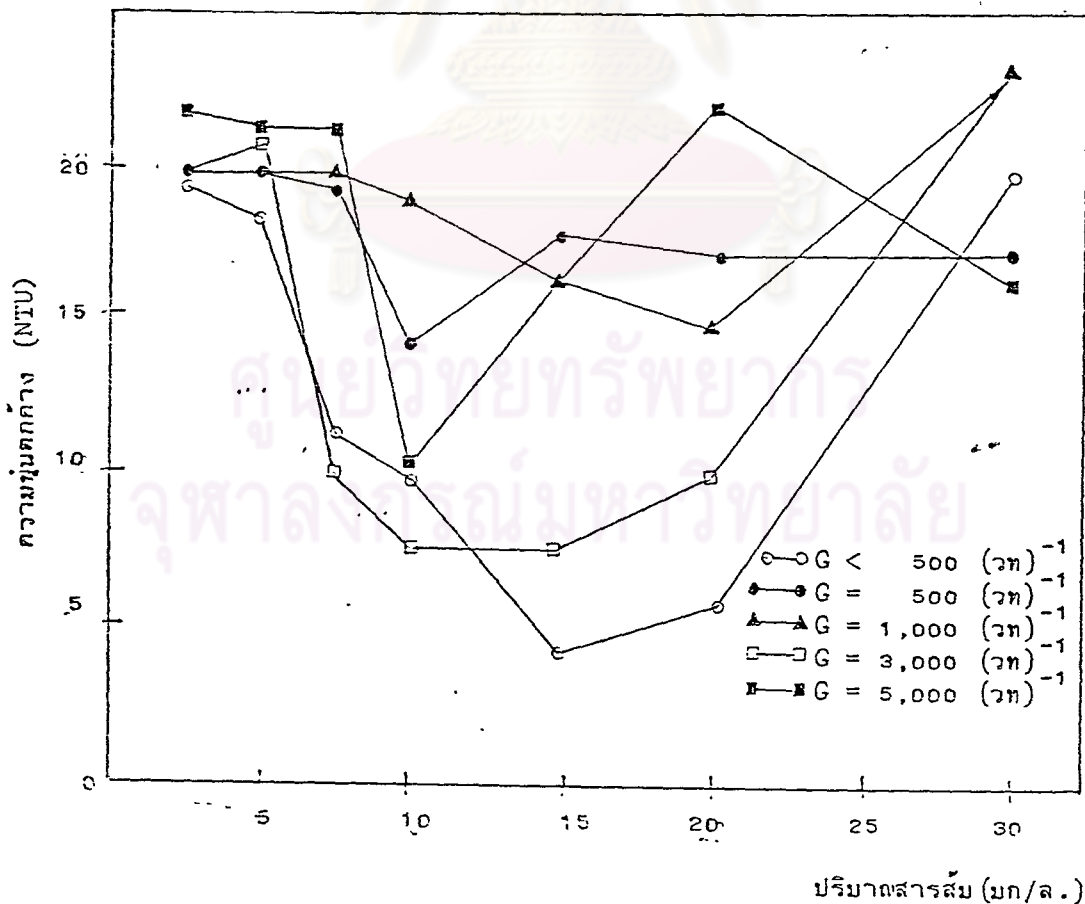
ดำเนินการทดลองโดยใช้อุปกรณ์เบลนเดอร์ แปรค่า G , 500, 1000, 3000, 5000 $(\text{วท})^{-1}$ และใช้จารีทเทศท์ ซึ่งให้ค่า G ต่ำกว่า 500 $(\text{วท})^{-1}$ พีเอชสุดท้าย 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 และความปั่นเริ่มต้น 20, 100 และ 500 NTU

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้ม และความปั่นตกต่าง สำหรับพิจารณาประเภทของกลไกโคแอกกูเลชัน แสดงในภาพที่ 5.1 - 5.18 ดังต่อไปนี้



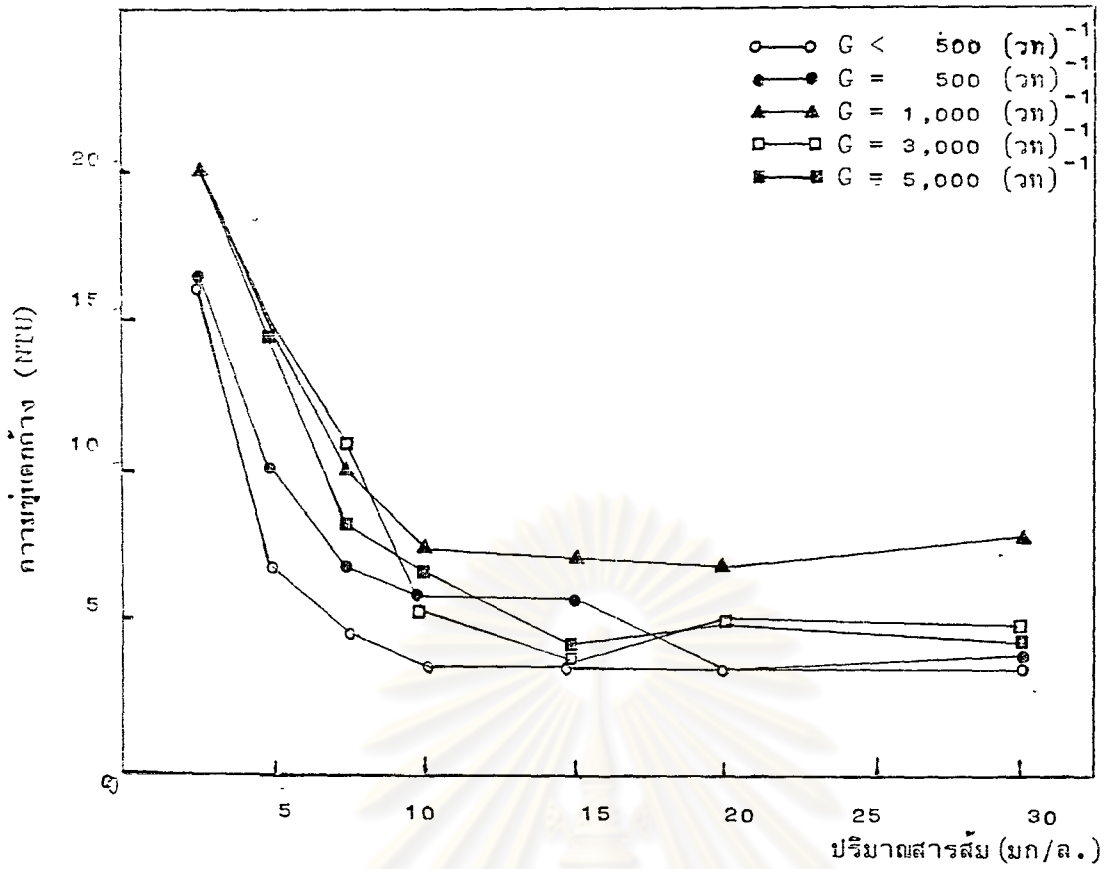
ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง.

ความขุ่นเริ่มต้น = 20 NTU พีเอชสุดท้าย = 4



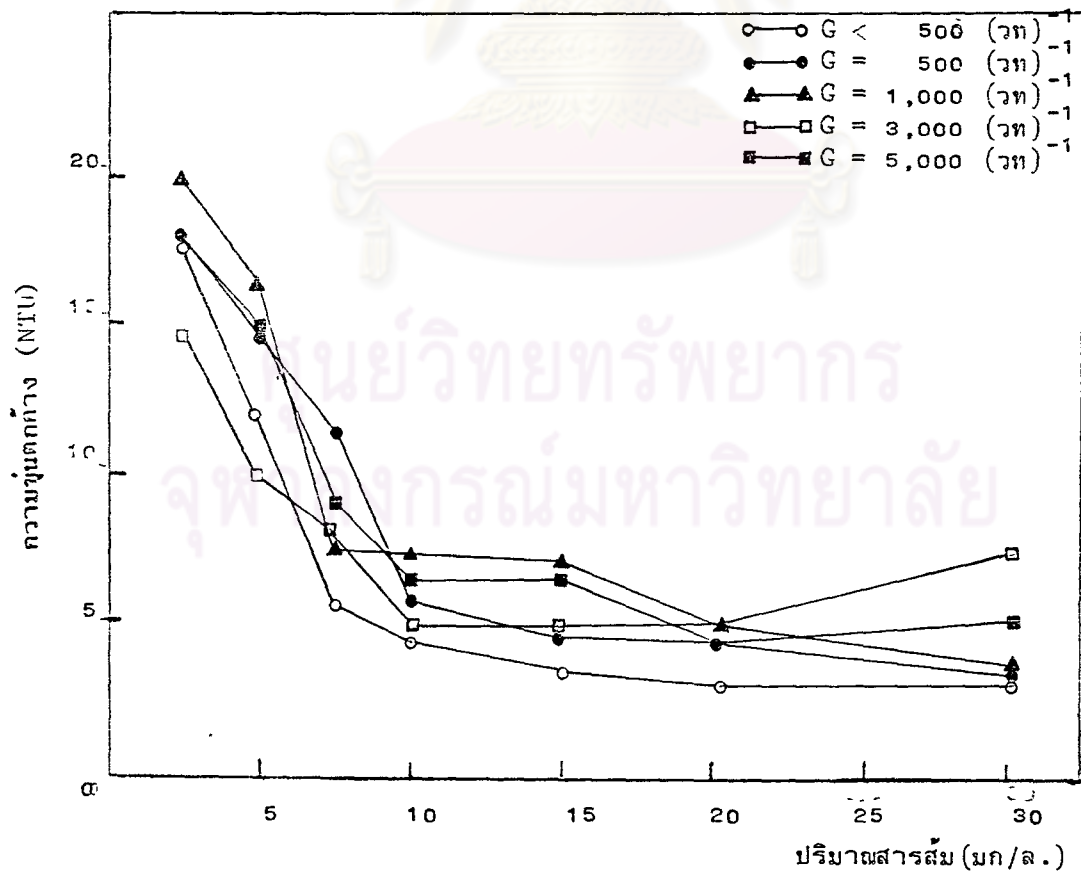
ภาพที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้ม และความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น = 20 NTU พีเอชสุดท้าย = 5



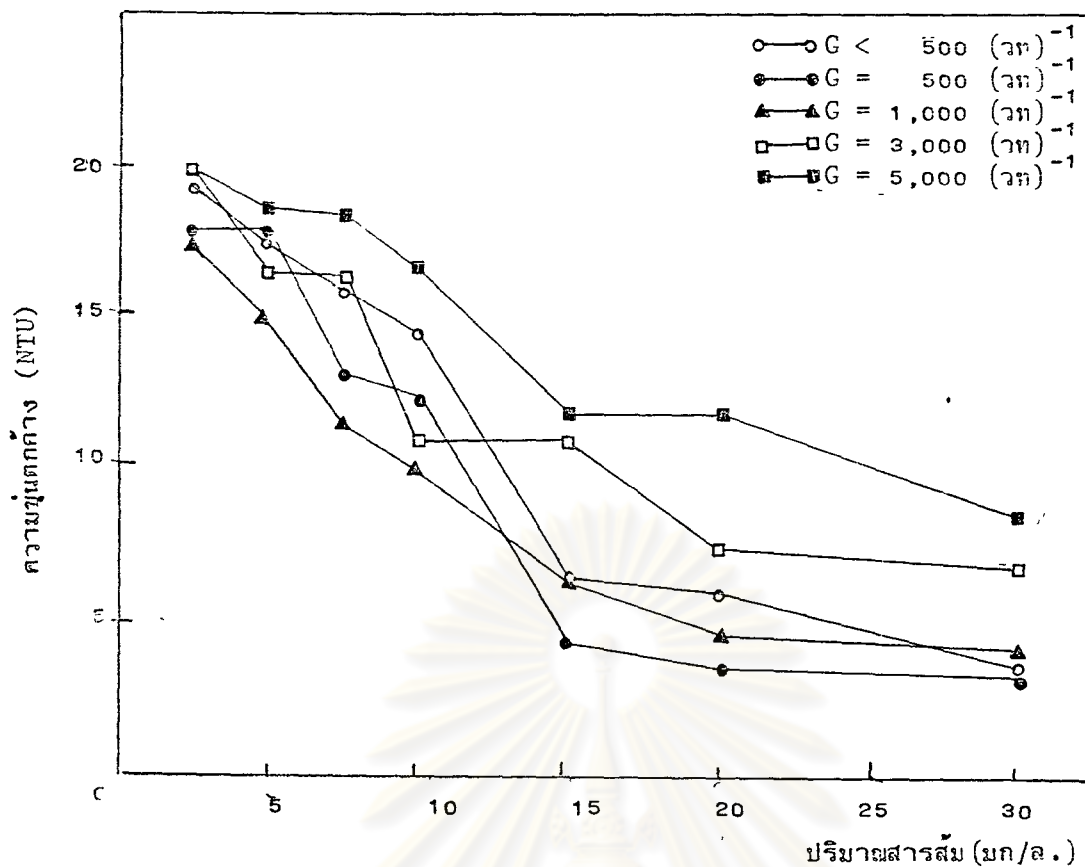
ภาพที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 6



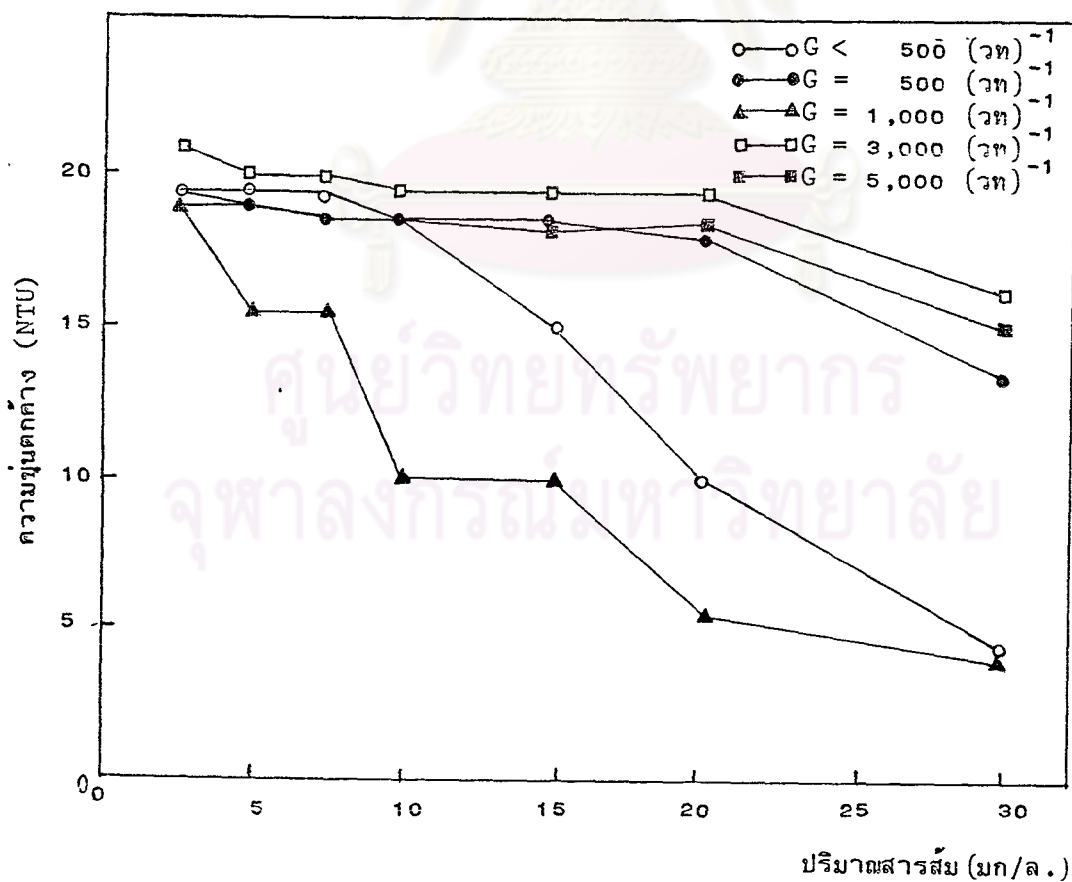
ภาพที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 7



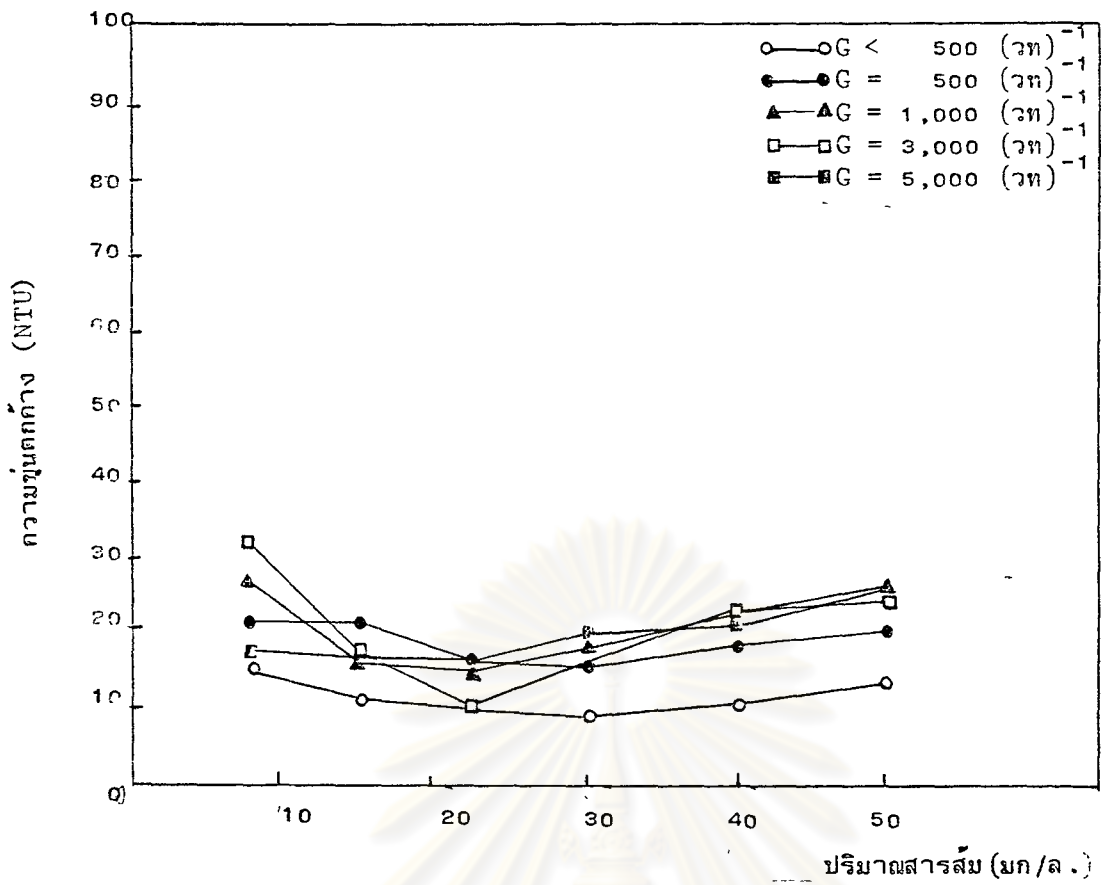
ภาพที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 8



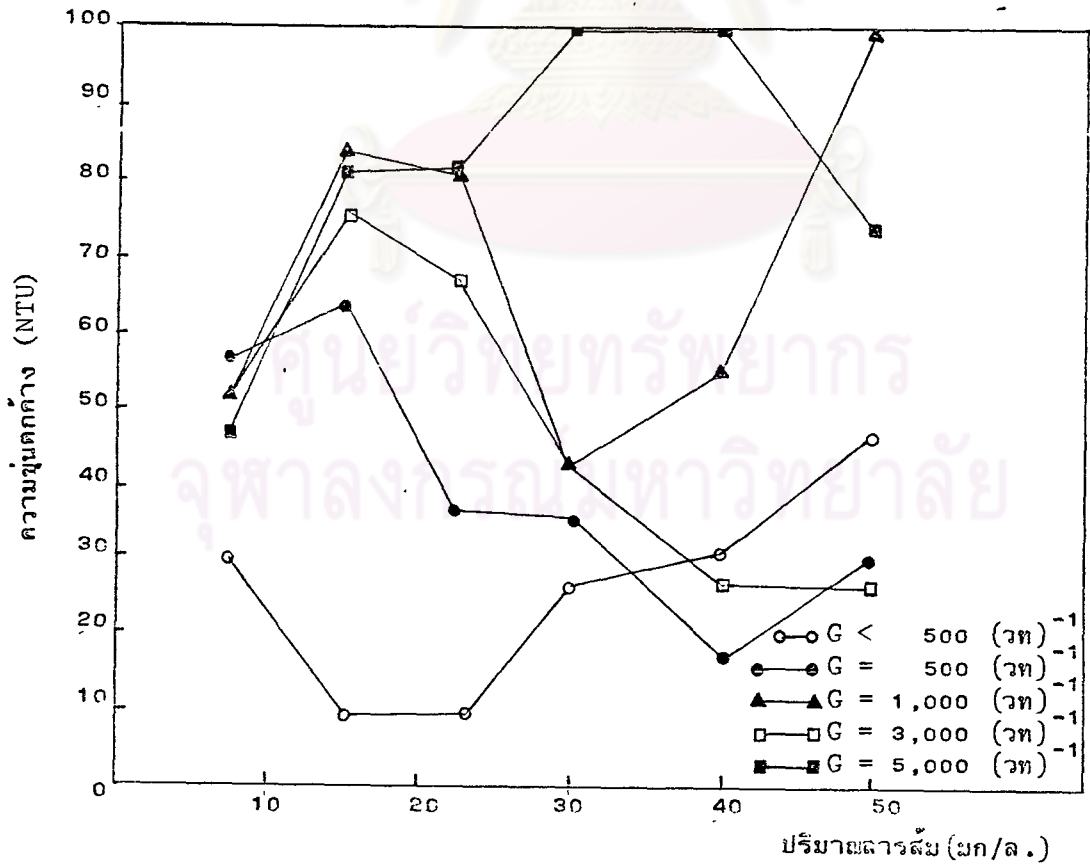
ภาพที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 9



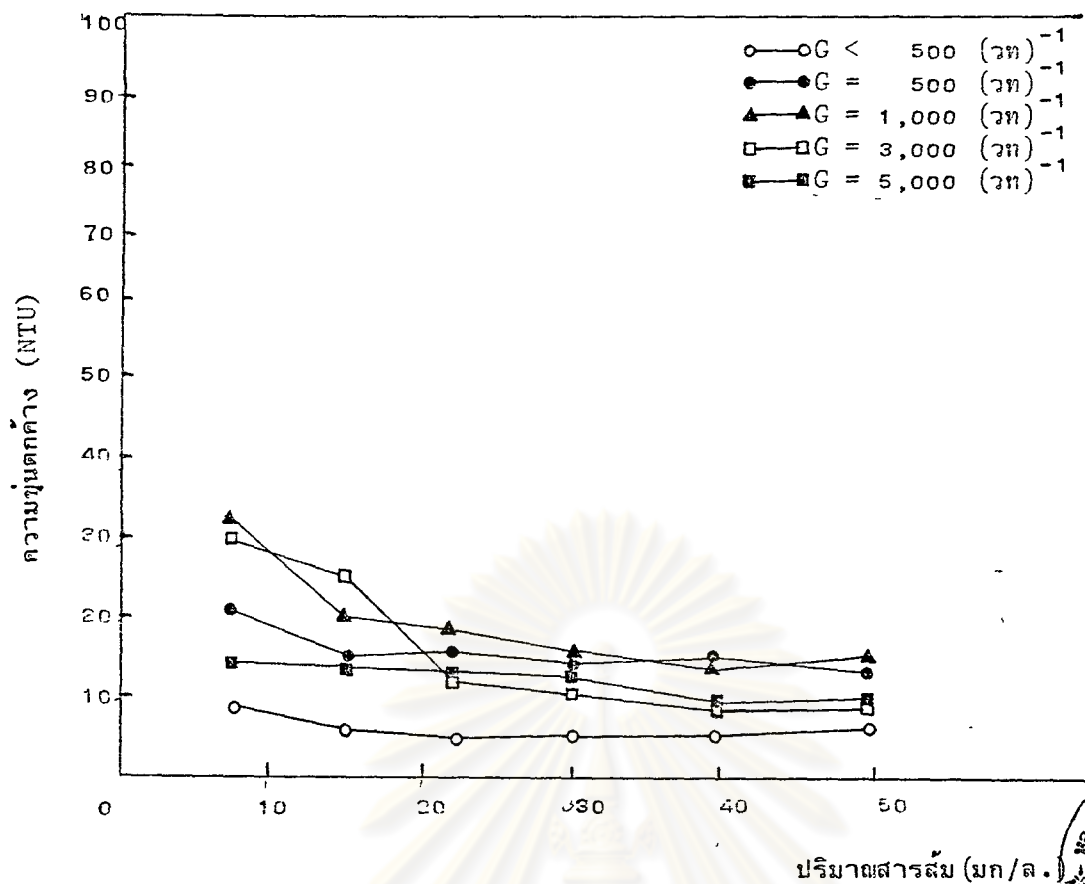
ภาพที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 4

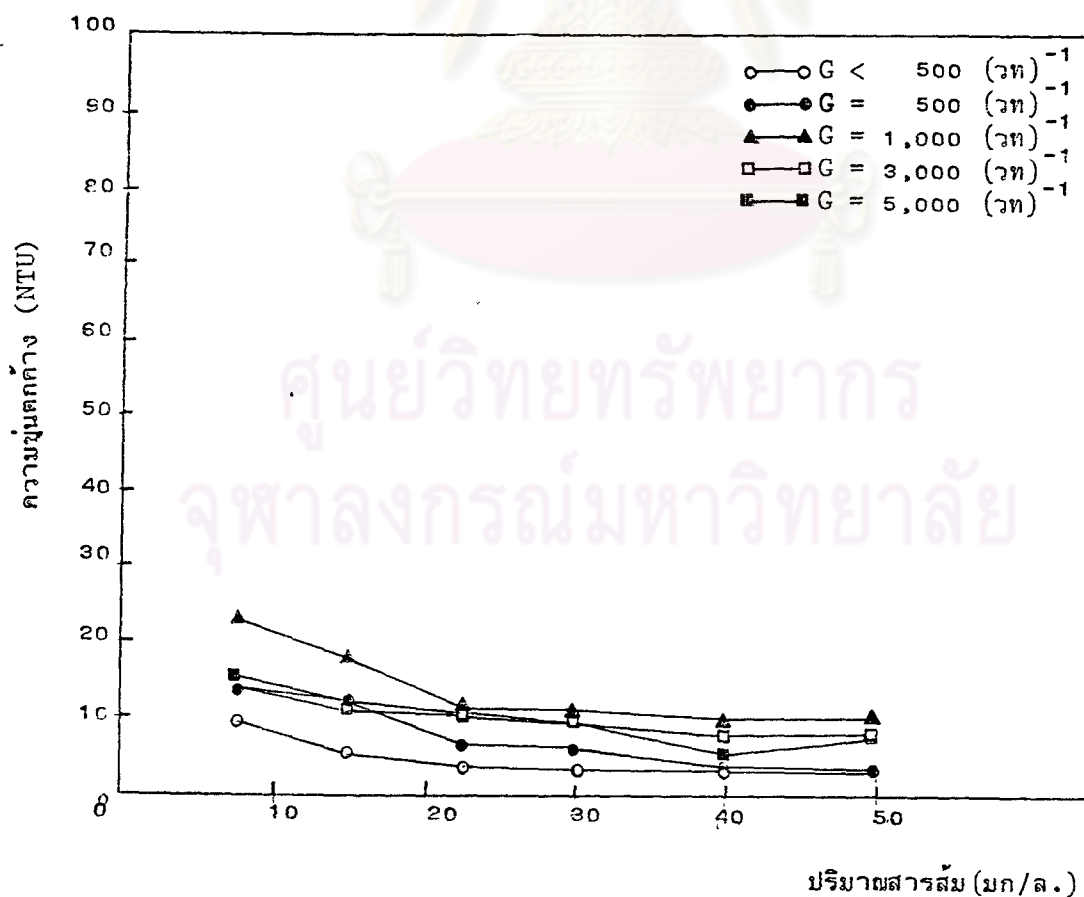


ภาพที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

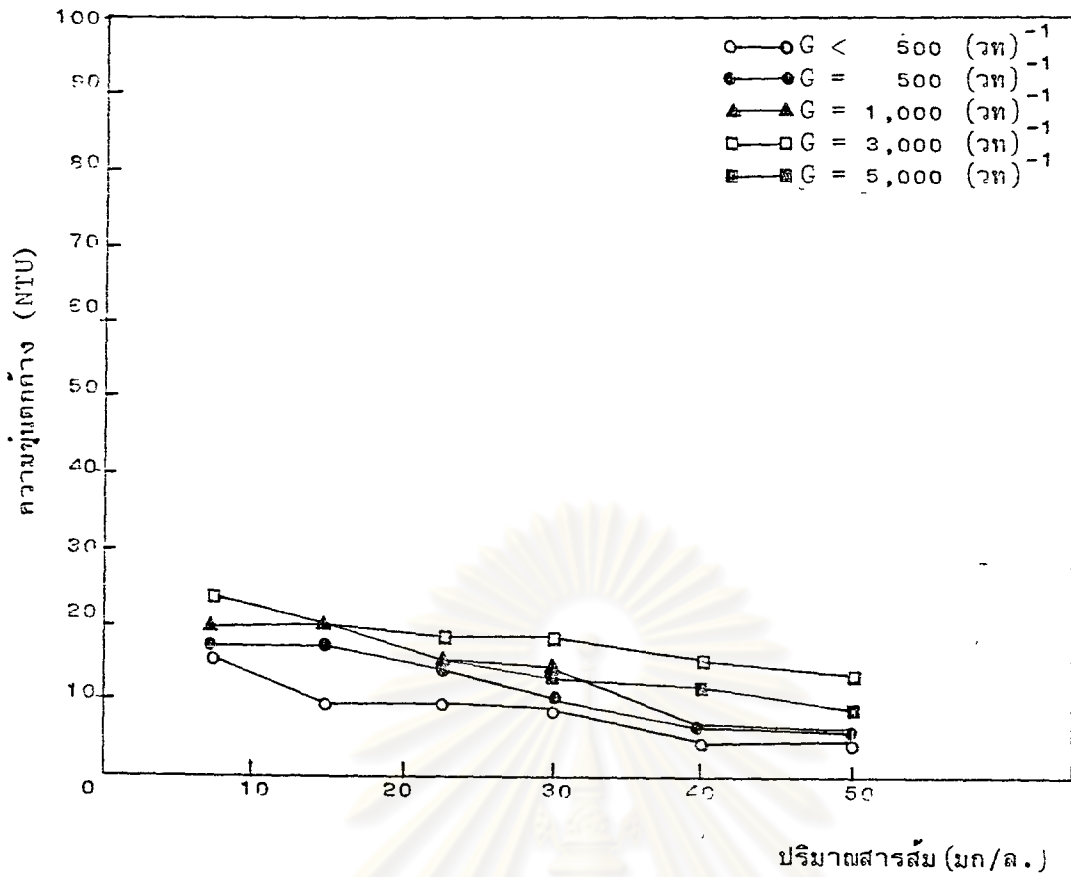
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 5



ภาพที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 6

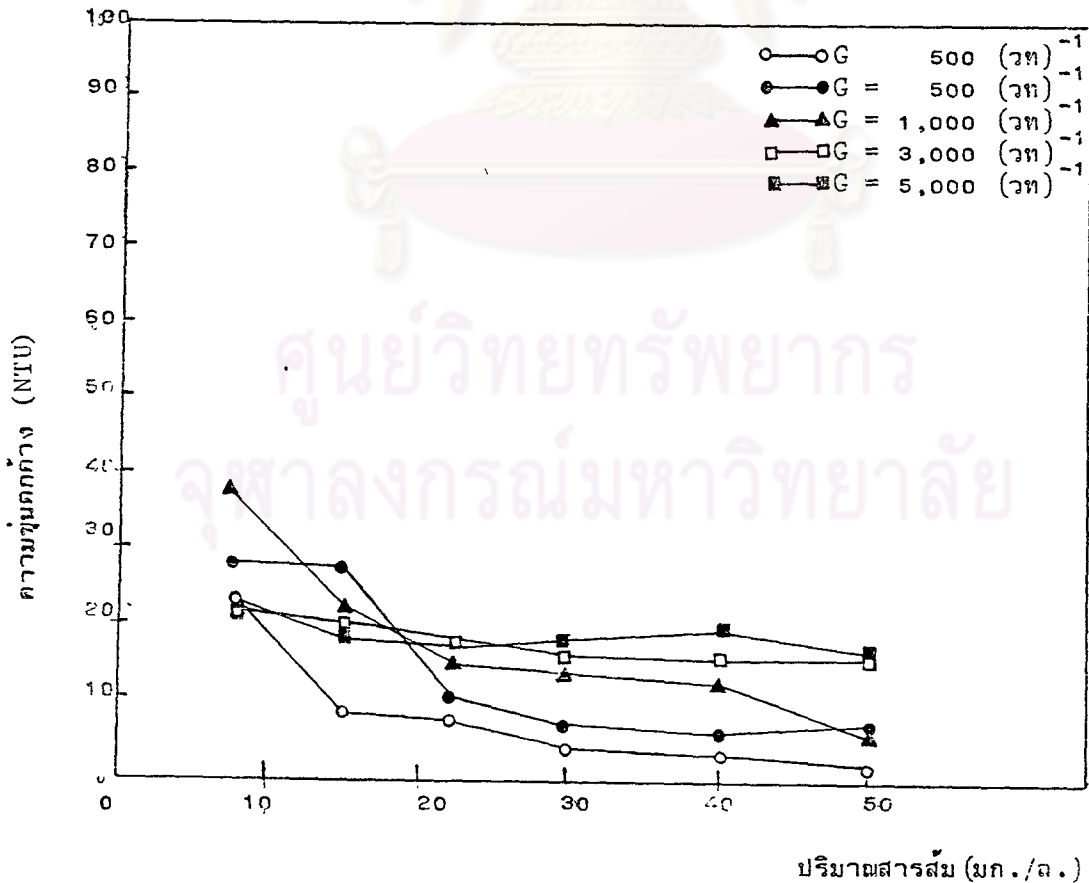


ภาพที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 7



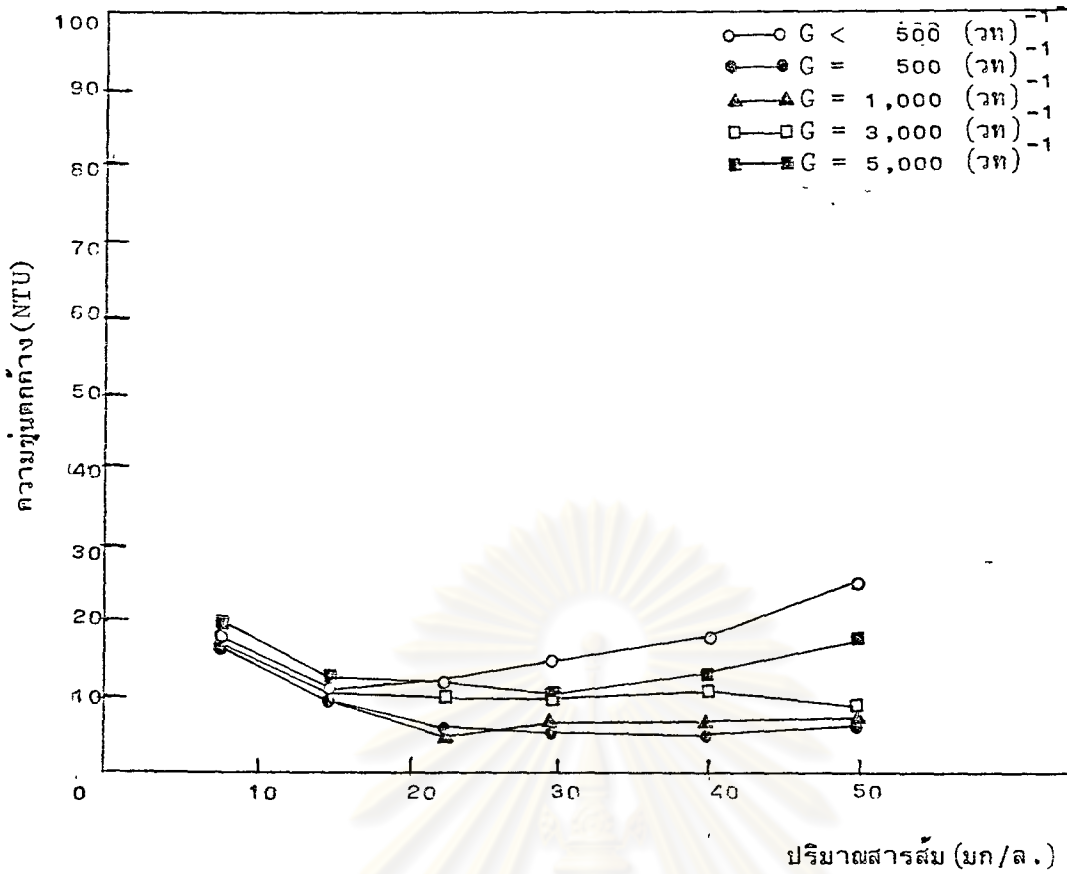
ภาพที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 8



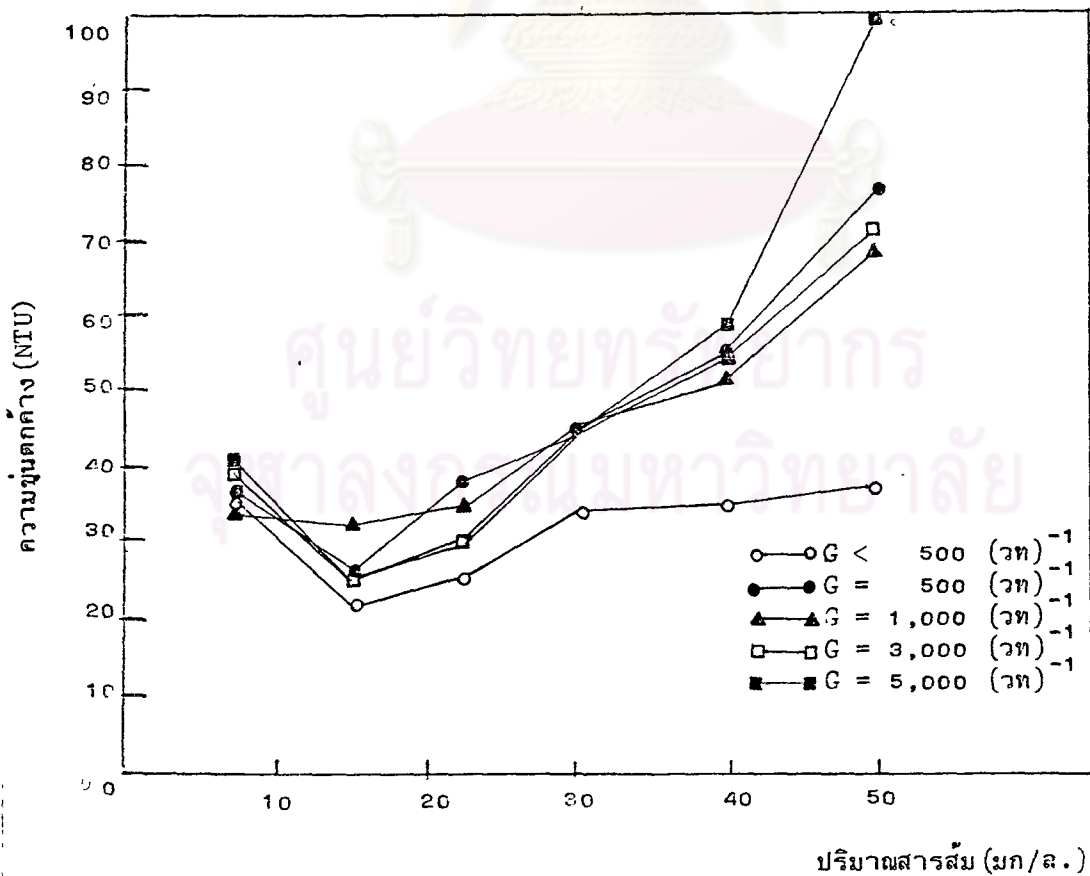
ภาพที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 9



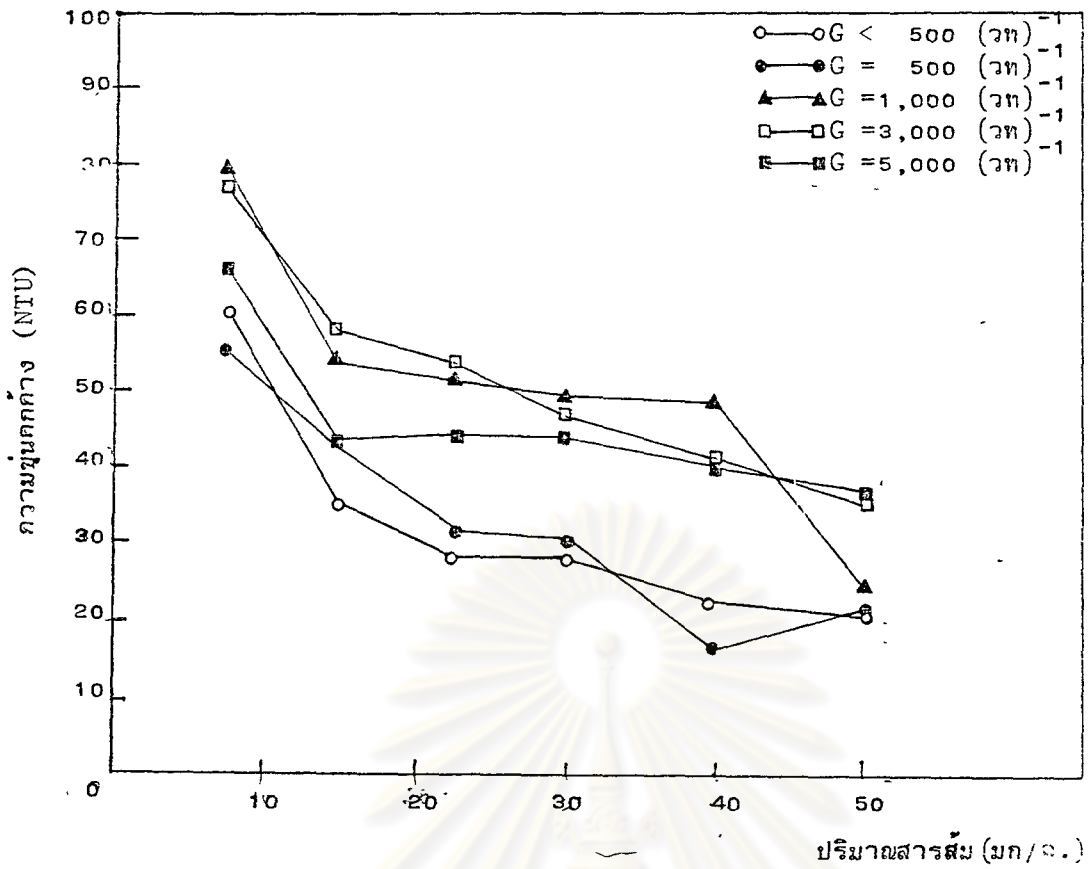
ภาพที่ 5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 4



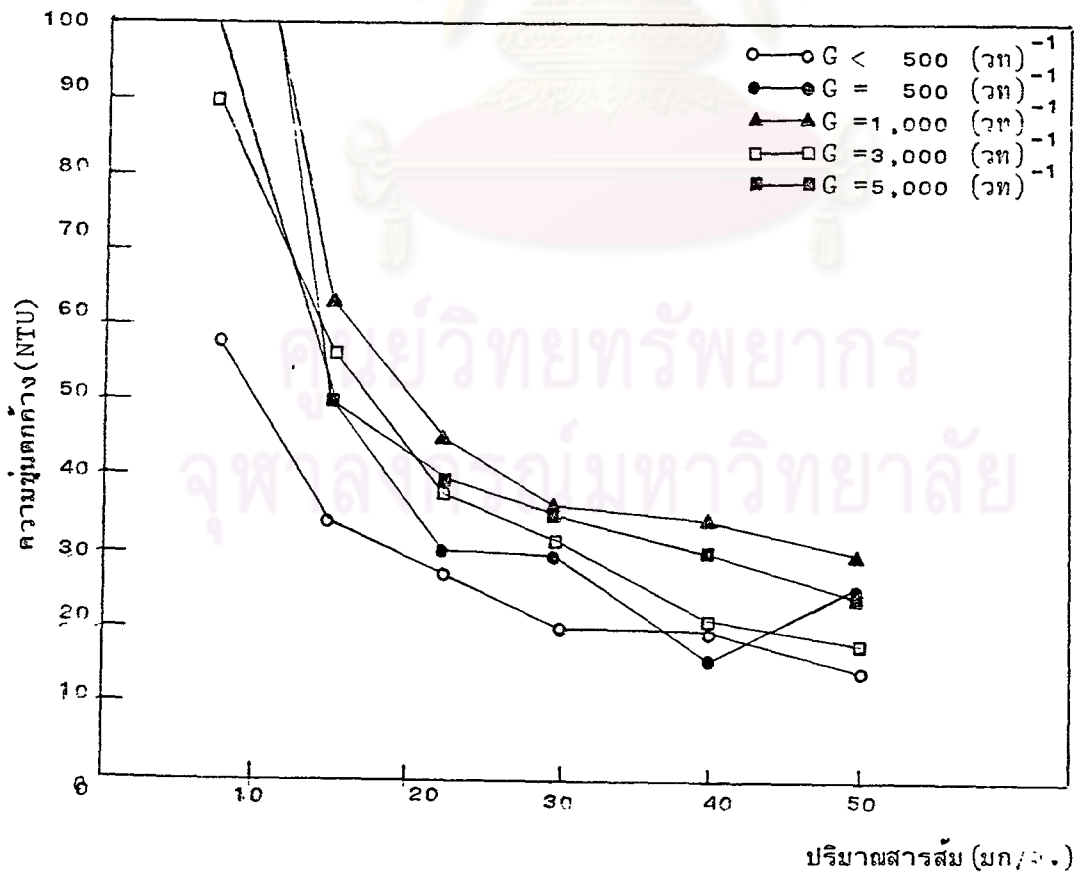
ภาพที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 5



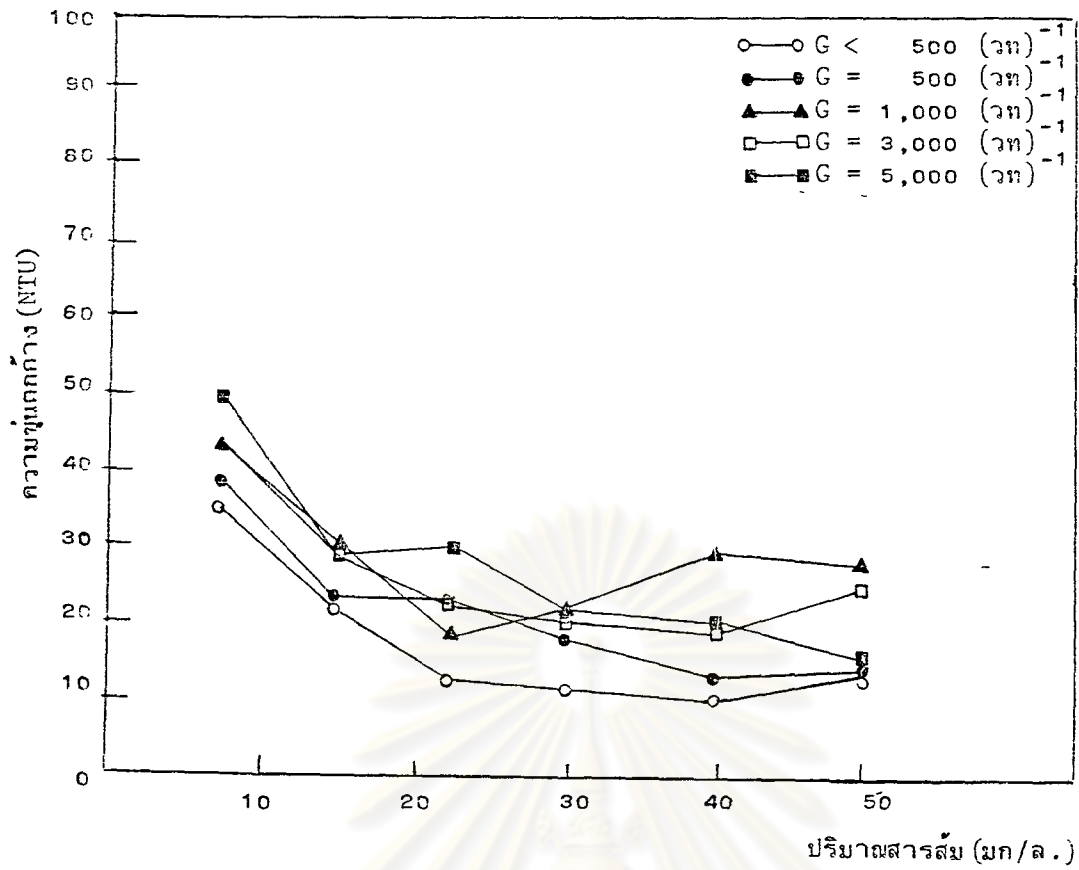
ภาพที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 6



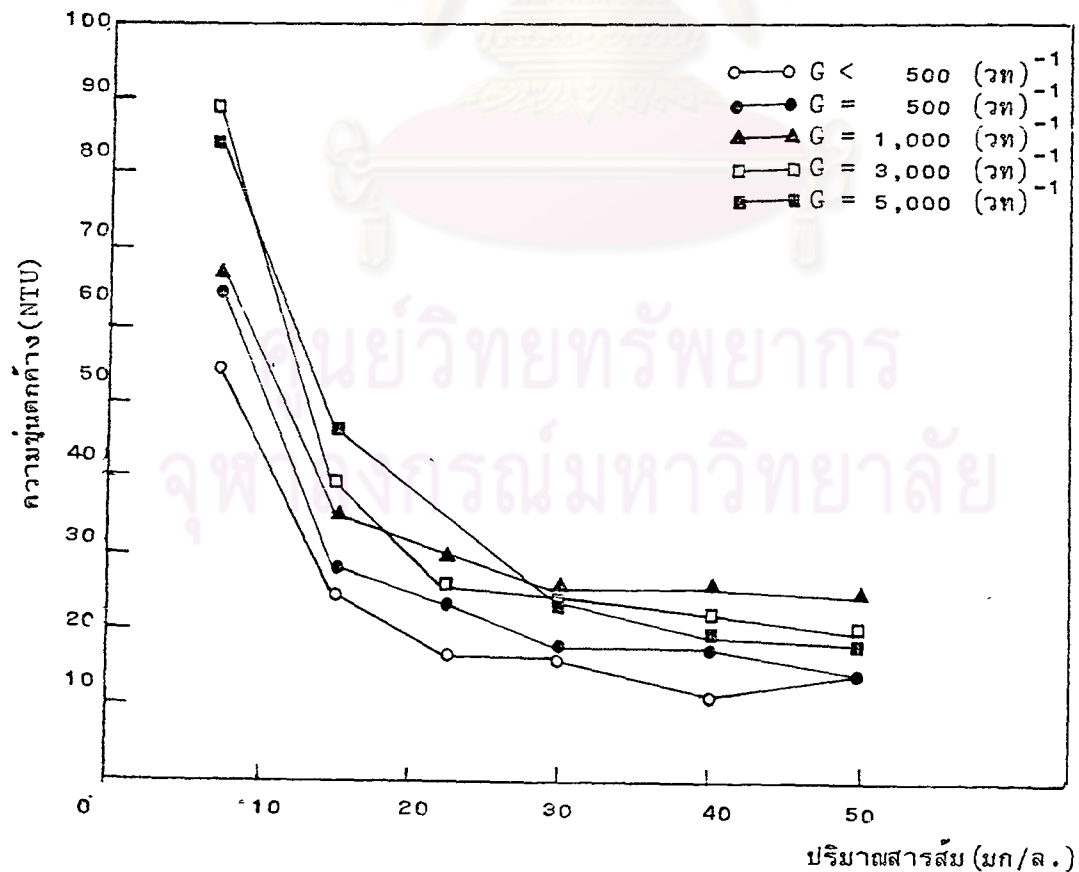
ภาพที่ 5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 7



ภาพที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 8



ภาพที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง

ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 9

พิจารณาภาพที่ 5.1 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง ที่ $G, < 500, 500, 1000, 3000$ และ 5000 (วท)^{-1} พบว่าการกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นน้อยมาก แม้ปริมาณสารส้มจะสูงถึง 30 มก/ล แล้วก็ตาม ซึ่งเป็นไปได้ว่ากลไกโคแอกกูเลชัน เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังไม่ปรากฏแนวโน้มของการเกิดกลไกแบบกวาดหรือกลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุอย่างเด่นชัด แต่อย่างไร

ภาพที่ 5.2 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 5 การกำจัดความขุ่นเป็นไปอย่างมีนัยสำคัญ ที่ทุก ๆ ค่า G แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้ม 30 มก/ล ความขุ่นตกค้างจะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดทุกค่า G ลักษณะเช่นนี้ประเมินว่าเกิดกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุขึ้น เนื่องจากพีเอชต่ำ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารส้ม เกิดไอออนประจุบวก เป็นปริมาณมาก ดังนั้น เมื่อใช้ปริมาณสารส้ม 5 - 10 มก/ล ไอออนประจุบวกที่เกิดขึ้นมากเพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์ ซึ่งมีอยู่น้อย (ความขุ่นต่ำ) โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยบทบาทของ G มากนัก และเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มขึ้นไป ไอออนประจุบวกมากเกินไป จนเกิดกลไกคืนกลับของเสถียรภาพขึ้น

ภาพที่ 5.3 - 5.5 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 6 - 8 สารส้มส่วนใหญ่อยู่ในรูปฟล็อก $Al(OH)_3$ โคแอกกูเลชันซึ่งเกิดจากกลไกแบบกวาด ทั้งนี้ จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ G ต่าง ๆ พบว่า สำหรับกลไกโคแอกกูเลชันแบบกวาด ระดับของ G ที่ใช้ไป มีอิทธิพลที่เด่นชัดต่อประสิทธิภาพของโคแอกกูเลชัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Amirtharajah

ภาพที่ 5.6 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU พีเอชสุดท้าย 9 ปริมาณสารส้ม 20 มก/ล ความขุ่นตกค้างจะลดลง มีแนวโน้มของการเกิดกลไกแบบกวาด สำหรับ G ที่ 1000 (วท)^{-1} และ G ต่ำกว่า 500 (วท)^{-1} ของจาร์เทสท์ ส่วน G ที่ 500, 3000, 5000 (วท)^{-1} นั้น กลไกแบบกวาดเกิดขึ้นโดยไม่สมบูรณ์ แม้ปริมาณสารส้มจะเพิ่มขึ้นถึง 30 มก/ล แล้วก็ตาม

ภาพที่ 5.7 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 4 ปริมาณสารส้ม 7.5 - 30 มก/ล การกำจัดความขุ่นมีประสิทธิภาพสูง ทุก ๆ ค่า G แม้จะใช้ปริมาณสารส้มเพียง 7.5 มก/ล ก็ตาม ทั้งนี้ ที่พีเอช 4 เป็นพีเอชที่เหมาะสมสำหรับไอออนประจุบวกของสารส้ม ซึ่งกล่าวได้ว่าการกำจัดความขุ่นเกิดจากกลไกโคแอกกูเลชัน แบบดูดติดผิวและทำลายประจุ ในกรณีนี้โคแอกกูเลชันเกิดได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับภาพที่ 5.1 เนื่องจากมีความขุ่นเริ่มต้น หรือเป่าสัมพัทธ์มากขึ้น

ภาพที่ 5.8 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 5 ที่ปริมาณสารส้ม 7.5 - 50 มก/ล เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพที่ทุกค่า G เป็นภาวะที่ไอออนประจุบวกเกิดมาก และดูดติดผิวอนุภาคคอลลอยด์มาก จนอนุภาคเหล่านั้นกลับมีประจุบวก จึงเกิดเสถียรภาพเนื่องจากประจุบวกขึ้น

ภาพที่ 5.9 - 5.12 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU พีเอชสุดท้าย 6-9 ปริมาณสารส้ม 7.5 มก/ล การกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีแนวโน้มคงที่แม้ปริมาณสารส้มจะเพิ่มขึ้นถึง 50 มก/ล เมื่อพิจารณาประกอบกับพีเอชสุดท้าย 6-9 ซึ่งมีแนวโน้มของการเกิดผลึก $Al(OH)_3$ มาก ประเมินว่าลักษณะเช่นนี้เกิดกลไกแบบกวาดและพบว่าไม่มีผลเด่นชัดต่อประสิทธิภาพของโคแอกกูเลชัน เมื่อเกิดกลไกดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Amirtharajah

ภาพที่ 5.13 ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 4 ปริมาณสารส้ม 7.5 - 50 มก/ล การกำจัดความขุ่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ที่ทุกค่า G กล่าวได้ว่า จากอิทธิพลของไอออนประจุบวกของสารส้ม ที่เกิดขึ้นมากที่พีเอชสุดท้าย 4 จึงเกิดกลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ และเนื่องจากความขุ่นเริ่มต้นสูง หรือมีเป้าสำหรับดูดติดผิว และทำลายประจุมาก จึงไม่มีปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพเกิดขึ้น

ภาพที่ 5.14 ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 5 ที่ปริมาณสารส้ม 7.5 - 50 มก/ล การกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นได้ดีที่ทุก ๆ ค่า G เมื่อปริมาณสารส้มต่ำ และเมื่อปริมาณสารส้มสูงขึ้น ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพจะเกิดขึ้น โดยมีแนวโน้มเพิ่มตามค่า G ซึ่งขัดแย้งกับผลวิจัยของ Amirtharajah ที่พบว่าในกรณีของกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ ค่า G ที่สูงขึ้น จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นสูงขึ้น

ภาพที่ 5.15 - 5.18 ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU พีเอชสุดท้าย 6-9 การกำจัดความขุ่นเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ที่ปริมาณสารส้ม 22.5 - 40 มก/ล และมีแนวโน้มคงที่ แม้ปริมาณสารส้มจะเพิ่มขึ้นถึง 50 มก/ล ลักษณะเช่นนี้เกิดกลไกแบบกวาด และพบว่า G ไม่มีผลที่เด่นชัดต่อกลไกแบบกวาด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Amirtharajah และ Mills

5.2 ขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน

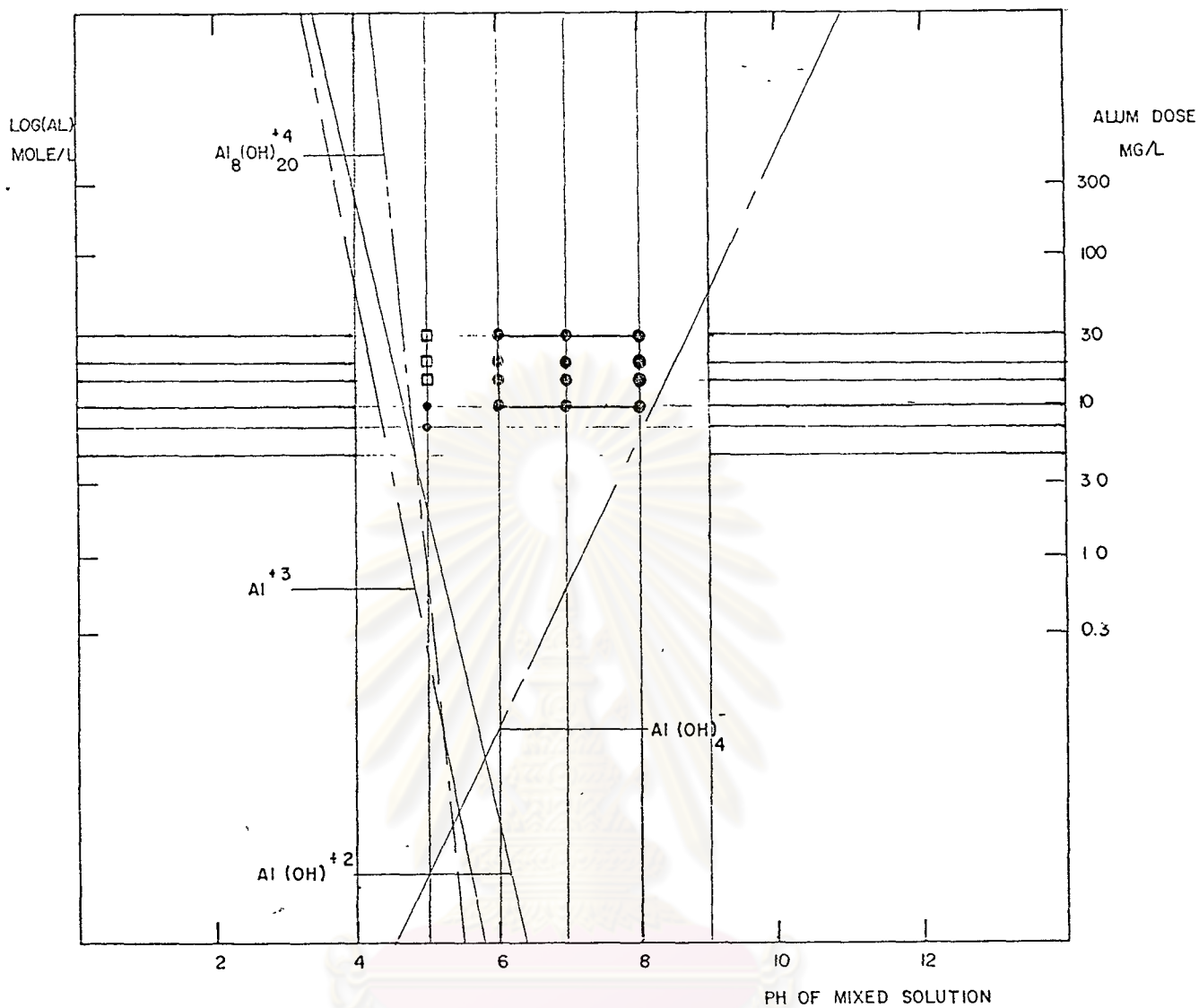
ผลที่แสดงในหัวข้อ 5.1 ทำให้ทราบถึงการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน ได้แก่ กลไกแบบกวาด, กลไกแบบดูดติดผิว และทำลายประจุ ตลอดจนปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ ที่ปริมาณสารส้ม, พีเอชสุดท้าย ความขุ่นเริ่มต้น และความเร็วแกรเดียนต์ต่าง ๆ นำผลที่ได้มาพิจารณากำหนดขอบเขตของการเกิดกลไกดังกล่าว ลงในไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม ดังแสดงในภาพ 5.19 - 5.33 ทั้งที่แสดงที่ค่า G และความขุ่นเริ่มต้นหนึ่ง ๆ เพื่อนำมาพิจารณาผลของค่า G ที่มีต่อกลไกโคแอกกูเลชัน ต่อไป

พิจารณาภาพที่ 5.19 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 500$ (วท)⁻¹ ขอบเขตของกลไกแบบกวาดอยู่ระหว่างพีเอช 6-8 และปริมาณสารส้ม 10-30 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 5 และปริมาณสารส้ม 7.5 - 10 มก/ล หลังจากนั้นเกิดกลไกคืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มมากกว่า 10 มก/ล

ภาพที่ 5.20 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 1000$ (วท)⁻¹ ขอบเขตของกลไกแบบกวาดอยู่ระหว่าง พีเอช 6 - 9 และปริมาณสารส้ม 10 - 30 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 5 และปริมาณสารส้ม 7.5 - 20 มก/ล หลังจากนั้นเกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มสูงกว่า 20 มก/ล

ภาพที่ 5.21 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 3000$ (วท)⁻¹ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่างพีเอช 6-8 และปริมาณสารส้ม 10-20 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 5 และปริมาณสารส้ม 5-15 มก/ล หลังจากนั้นเมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นเกิดกลไกการคืนกลับของเสถียรภาพ

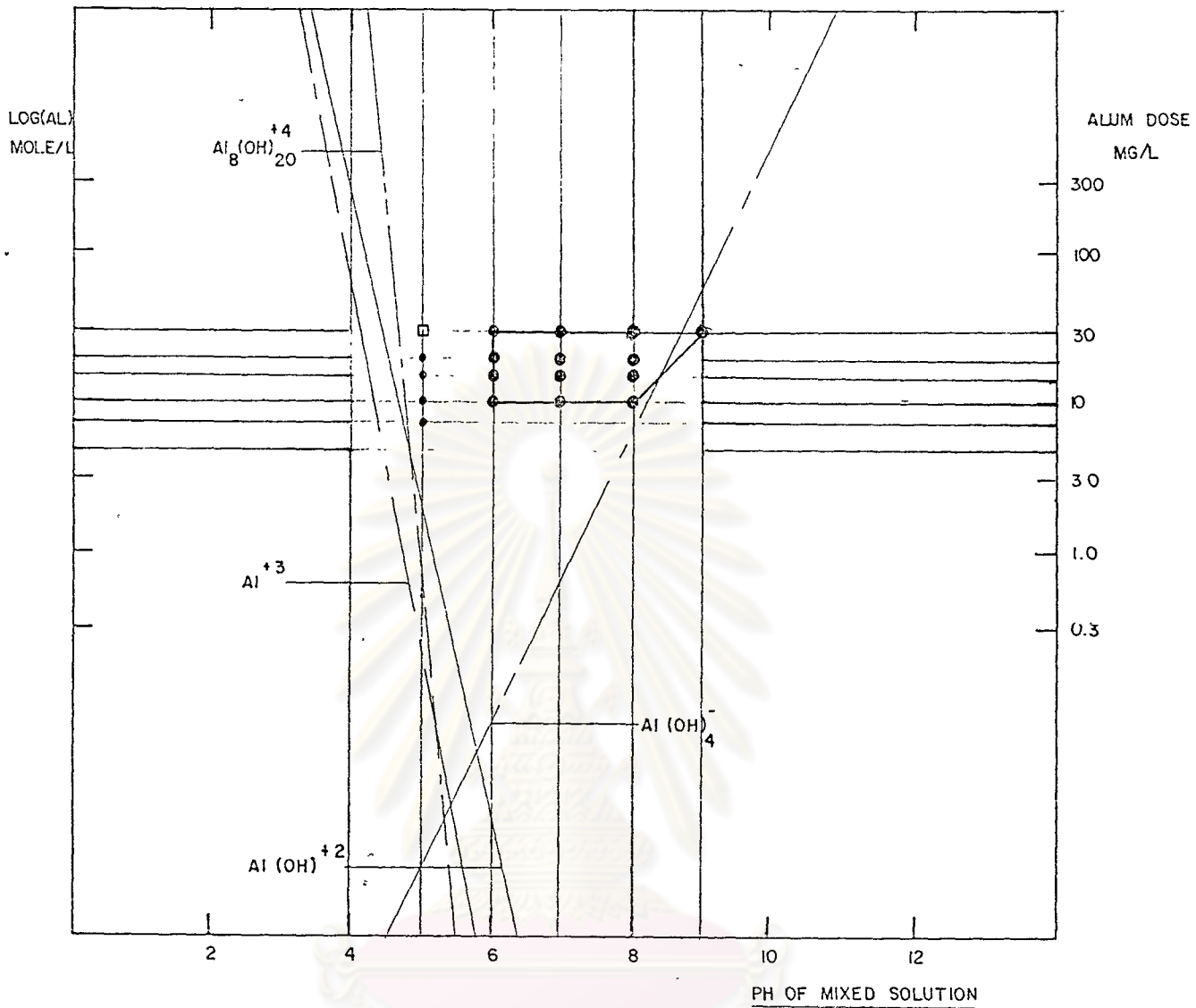
ภาพที่ 5.22 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 5000$ (วท)⁻¹ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่างพีเอช 6-8 ปริมาณสารส้ม 10-30 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 5 ปริมาณสารส้ม 7.5-10 มก/ล หลังจากนั้นเมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นมากกว่า 10 มก/ล เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ



ภาพที่ 5.19 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 500 \text{ (วท)}^{-1}$

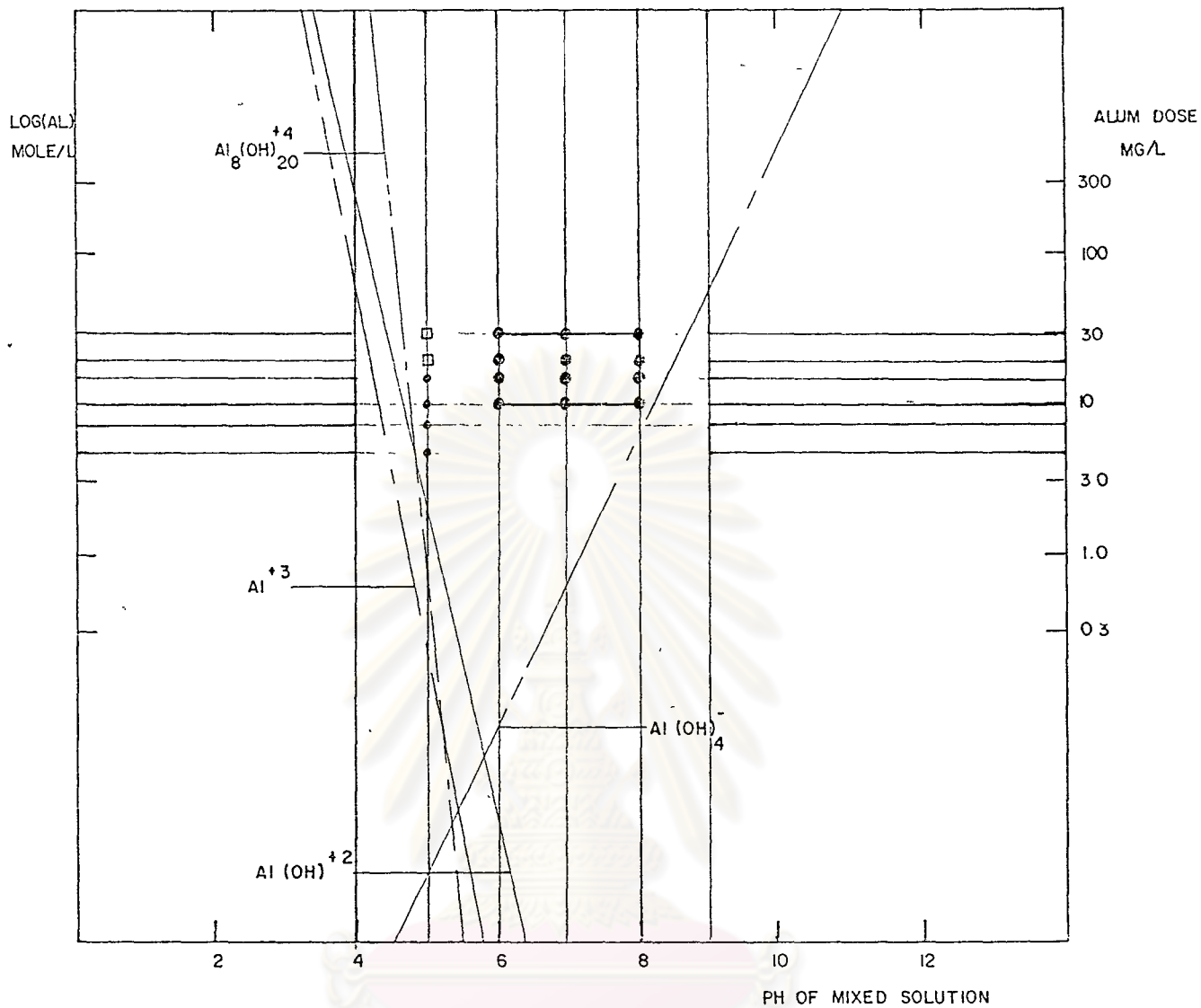
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)





ภาพที่ 5.20 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 1000$ (วท)⁻¹

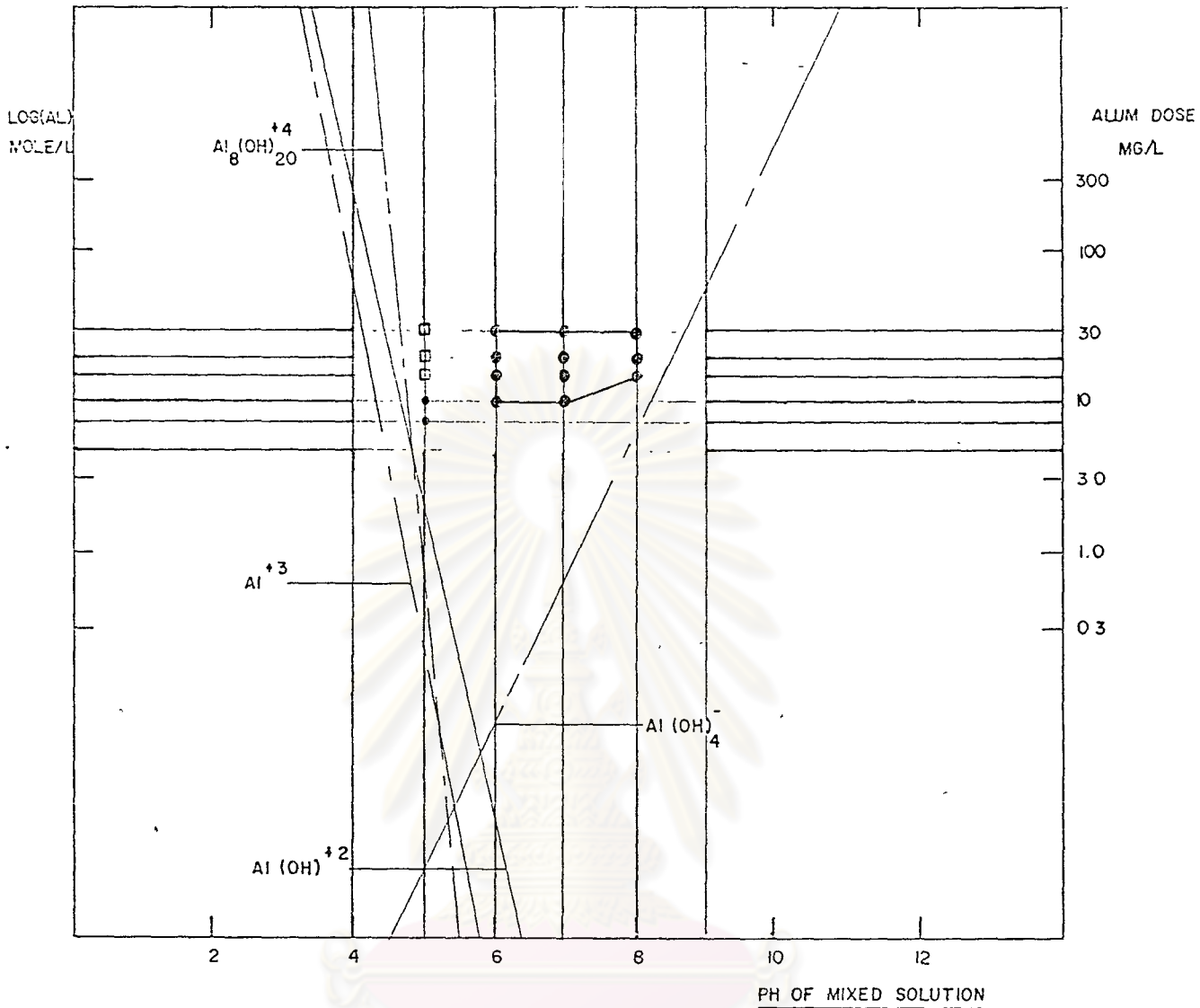
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.21 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
 ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 3000$ (วท)⁻¹

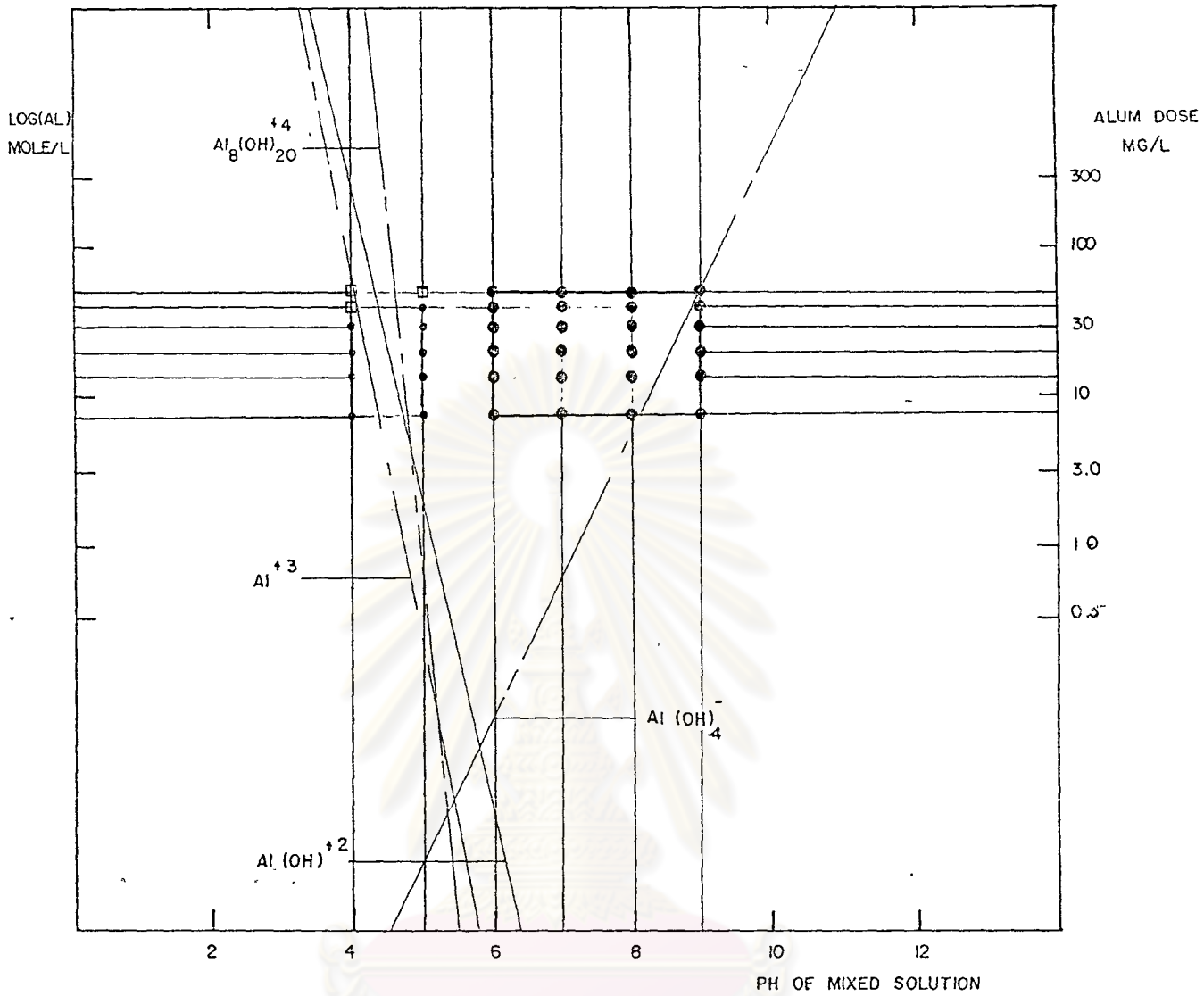
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



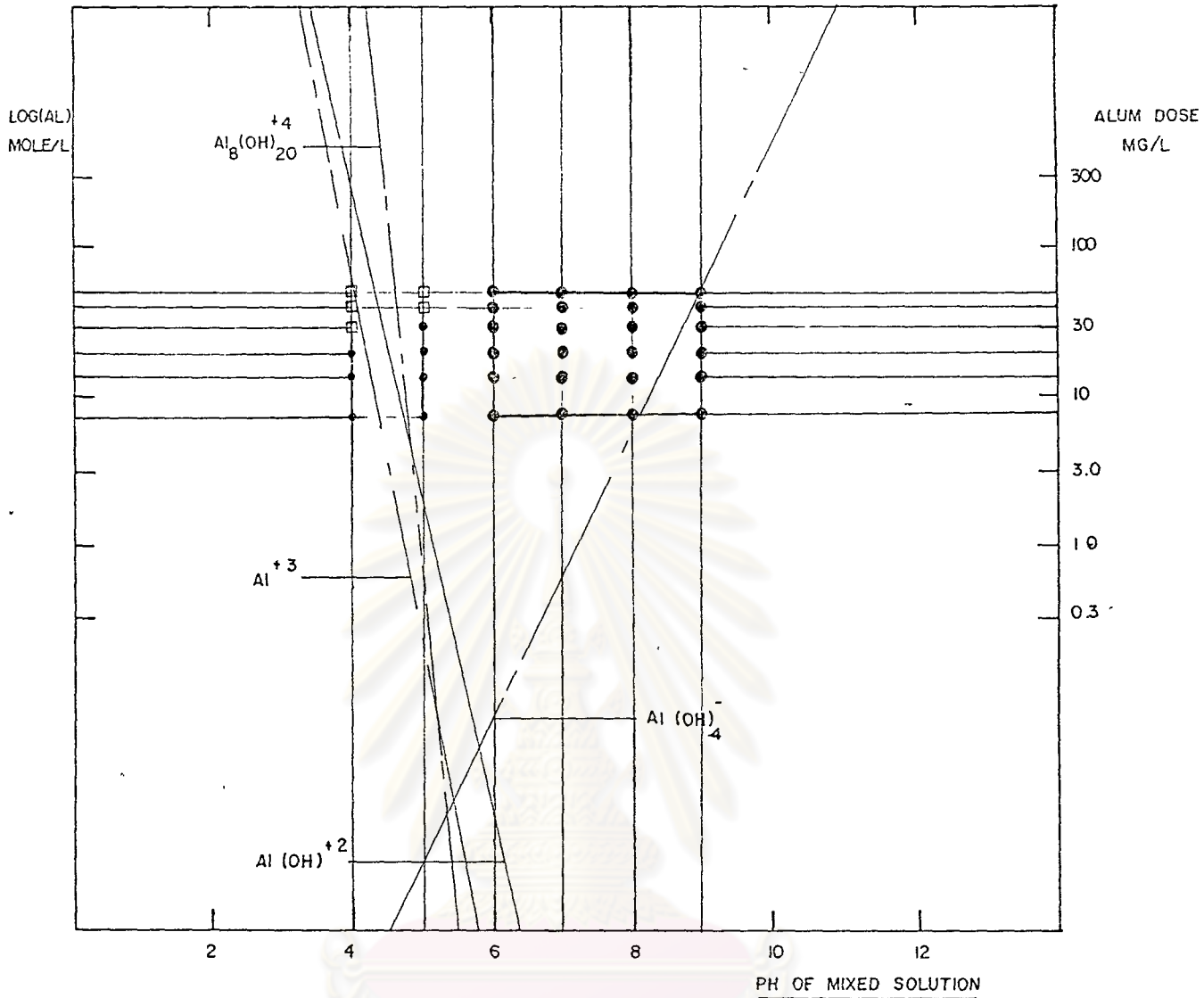
ภาพที่ 5.22 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU $G = 5000$ (วท)⁻¹

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



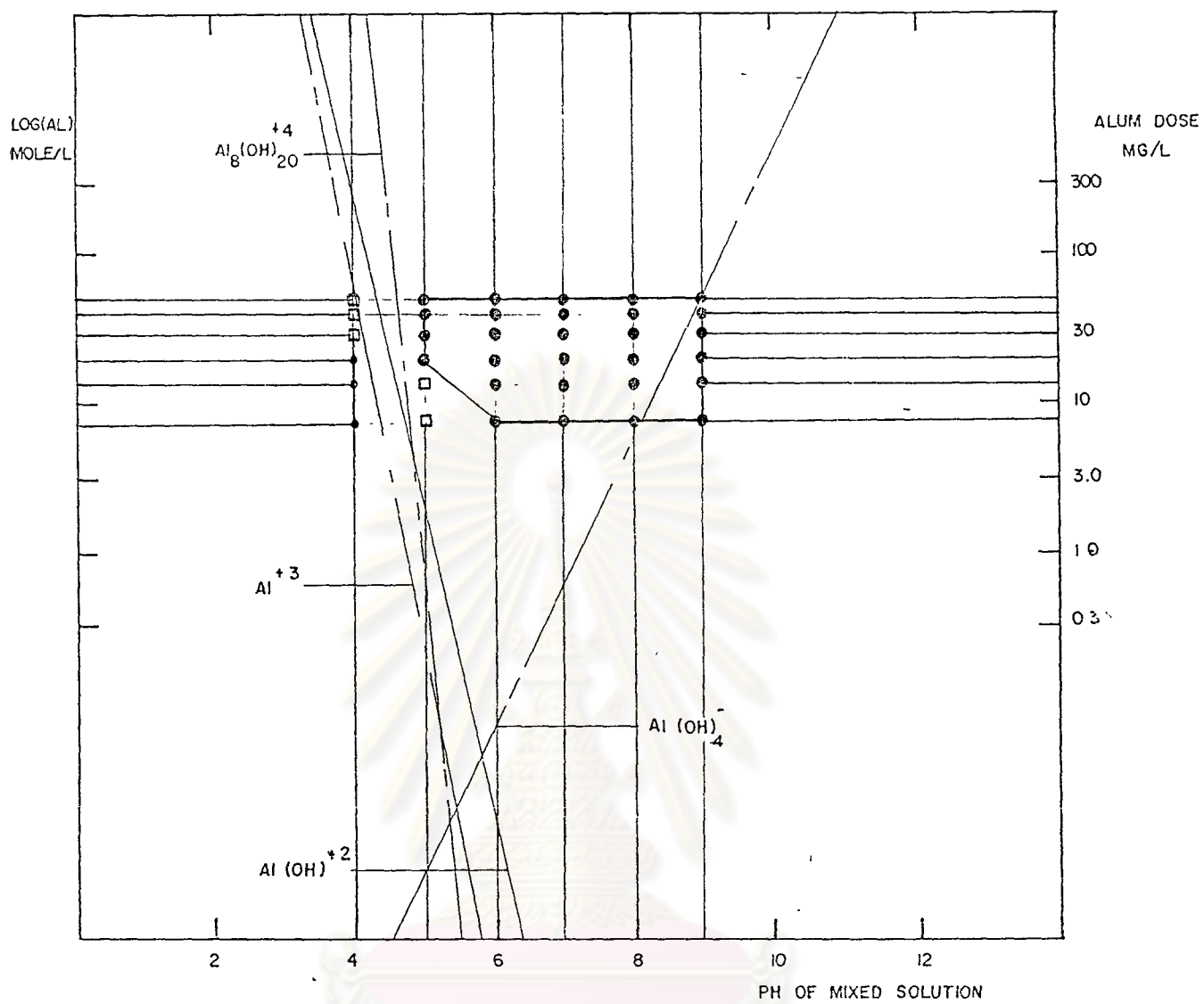
ภาพที่ 5.23 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 500$ (วท)⁻¹

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.24 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 1000$ (มท)⁻¹

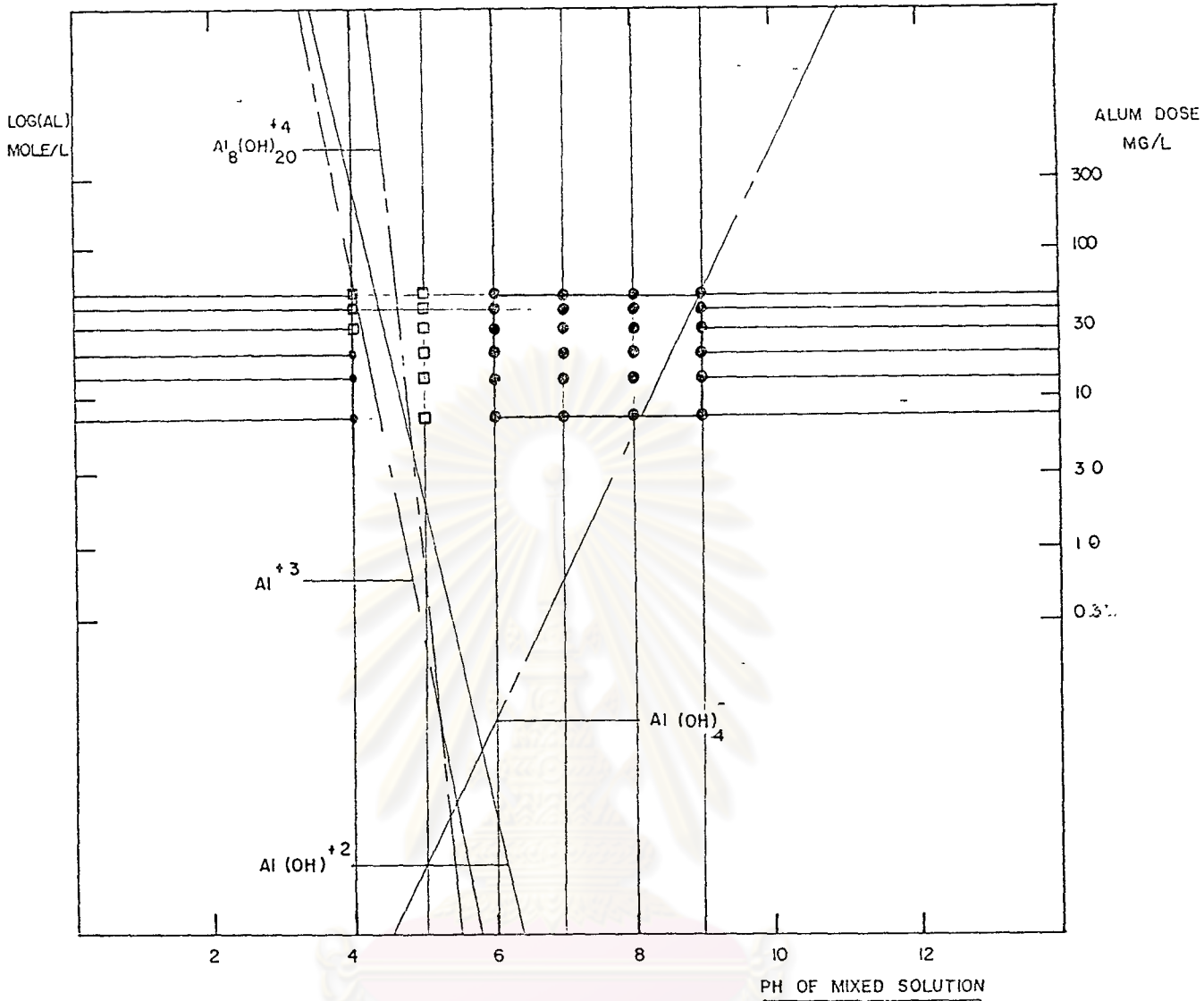
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.25 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 3000 \text{ (วท)}^{-1}$

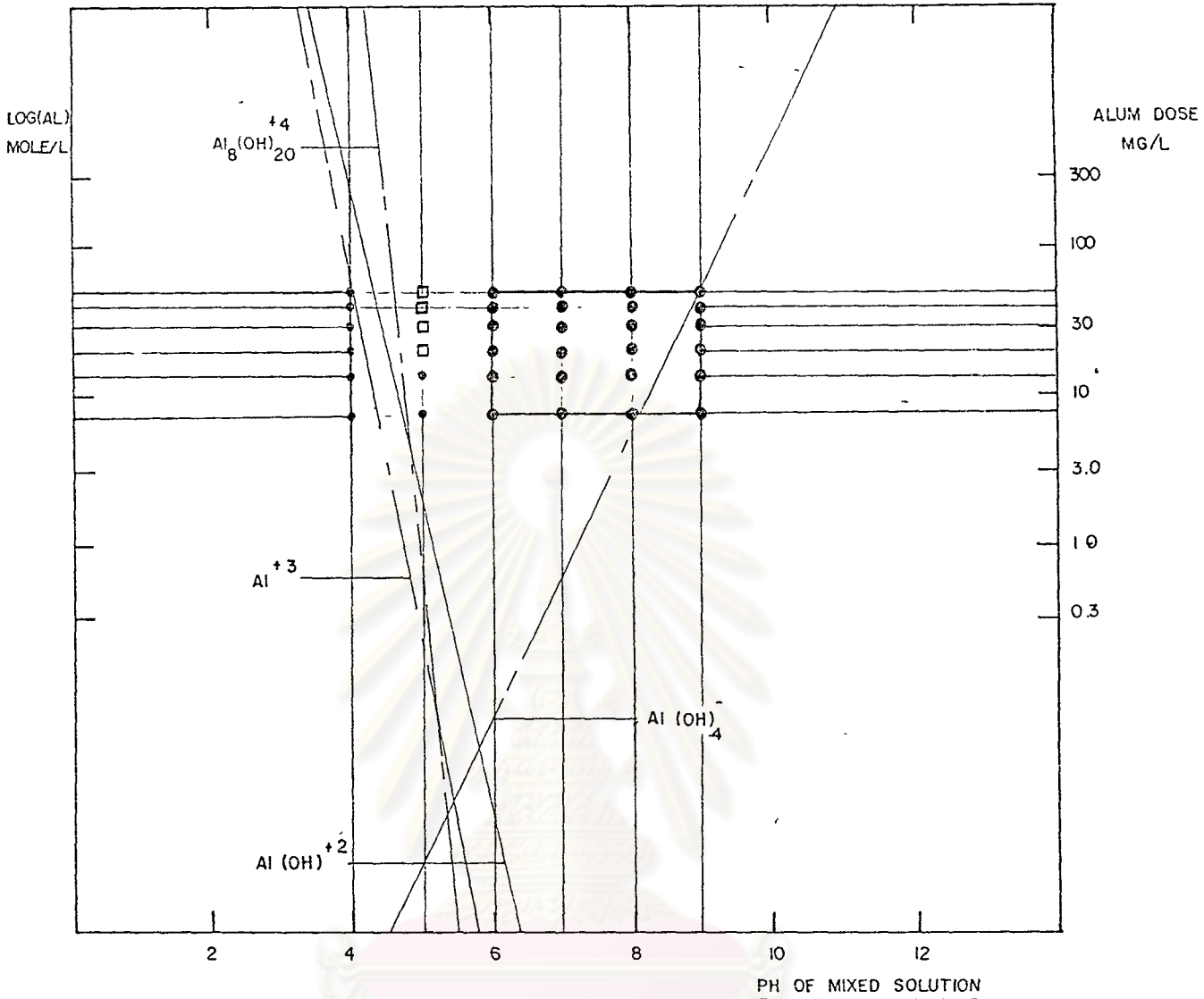


- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.26 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 5000 \text{ (วท)}^{-1}$

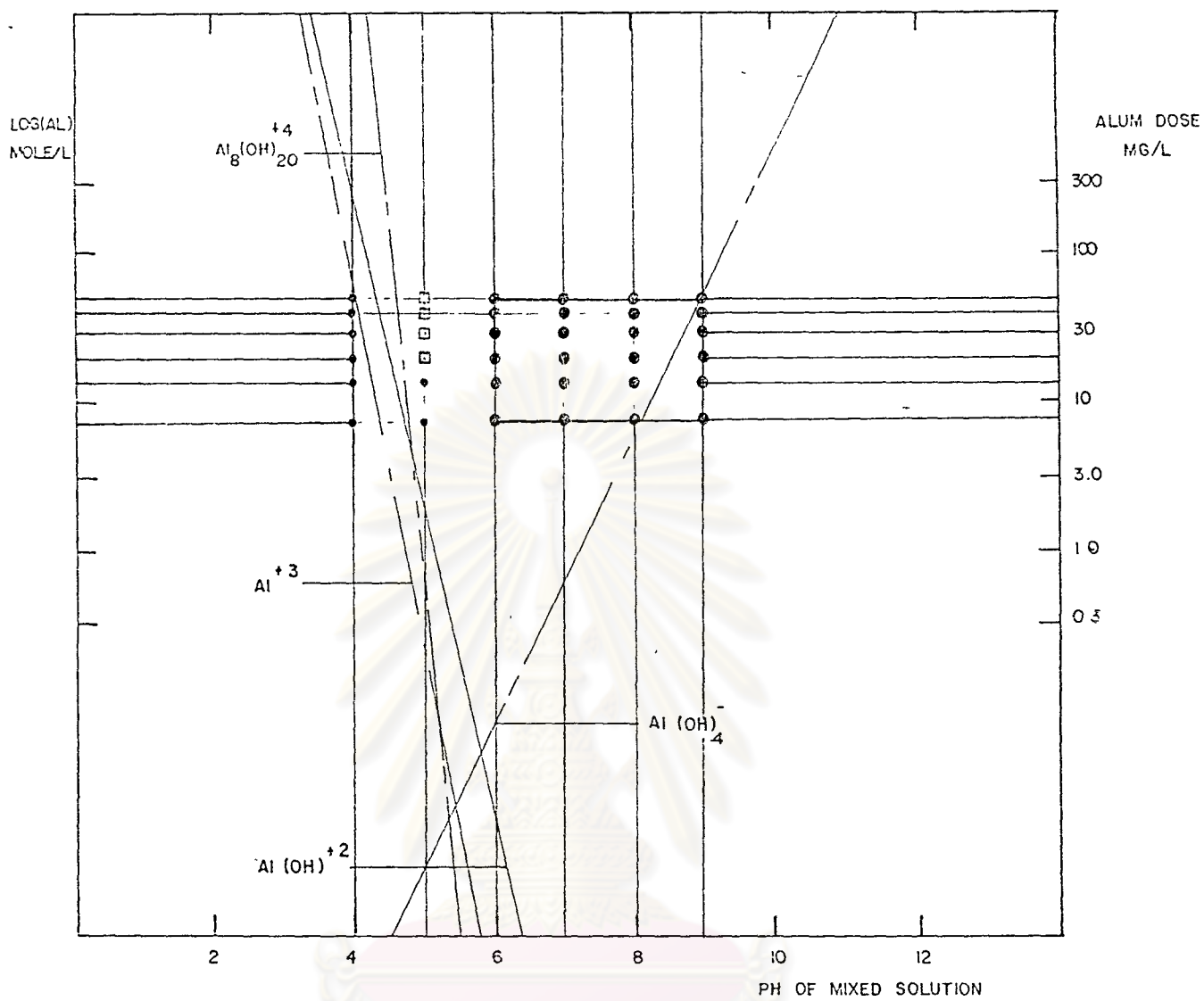
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.27 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม

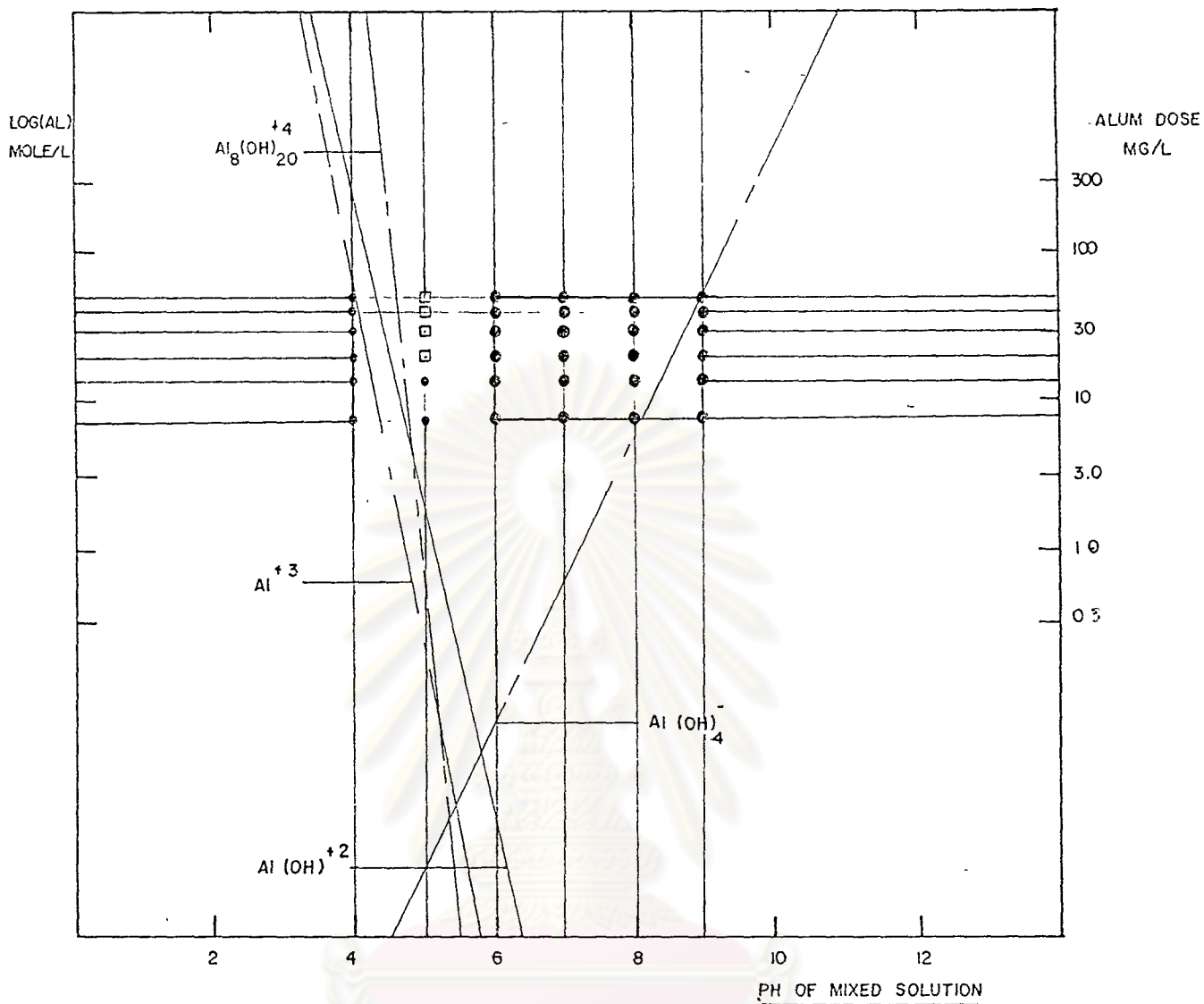
ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU $G = 500 \text{ (วท)}^{-1}$

- ⊕ = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



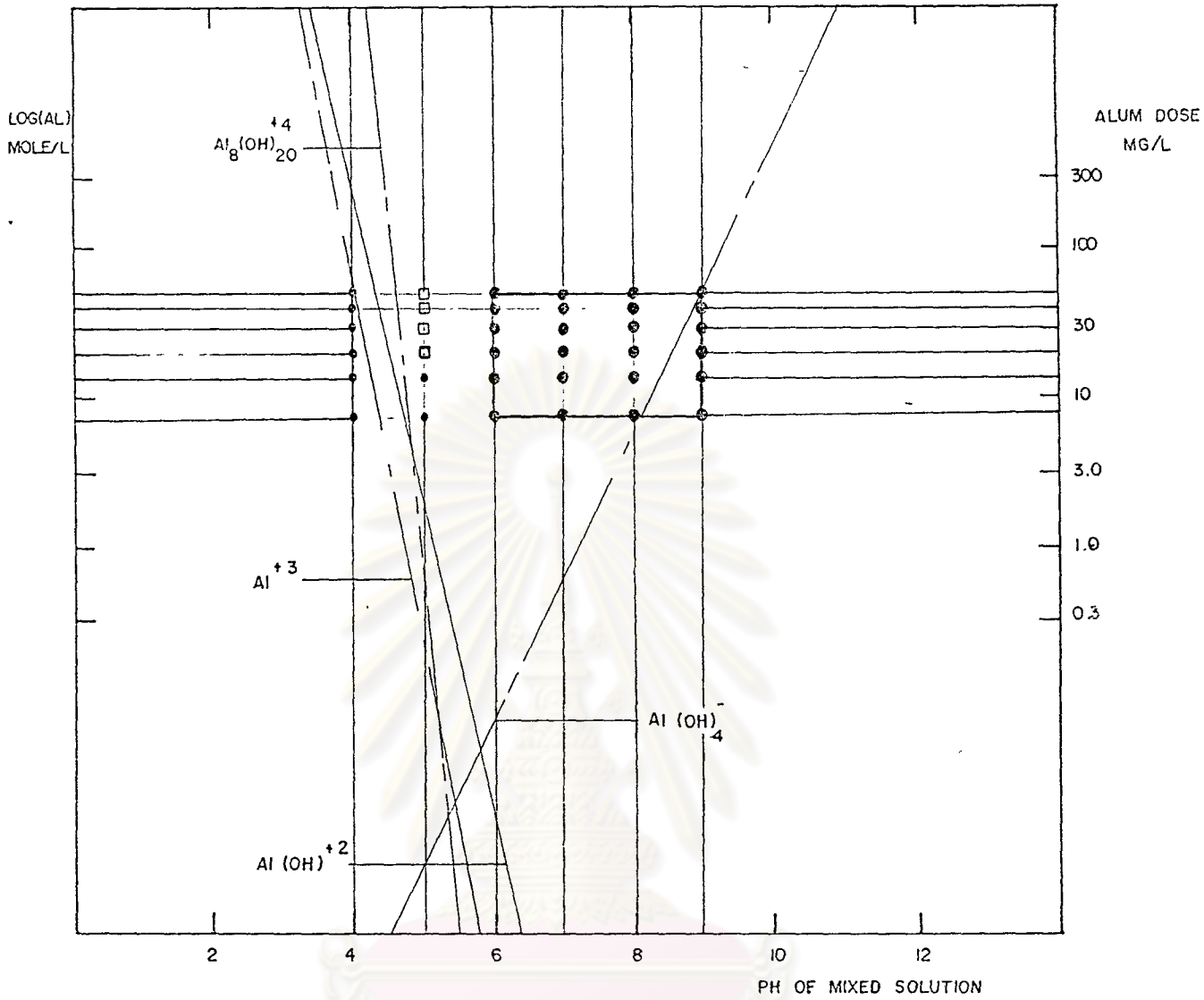
ภาพที่ 5.28 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU $G = 1000 \text{ (วท)}^{-1}$

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- ◻ = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



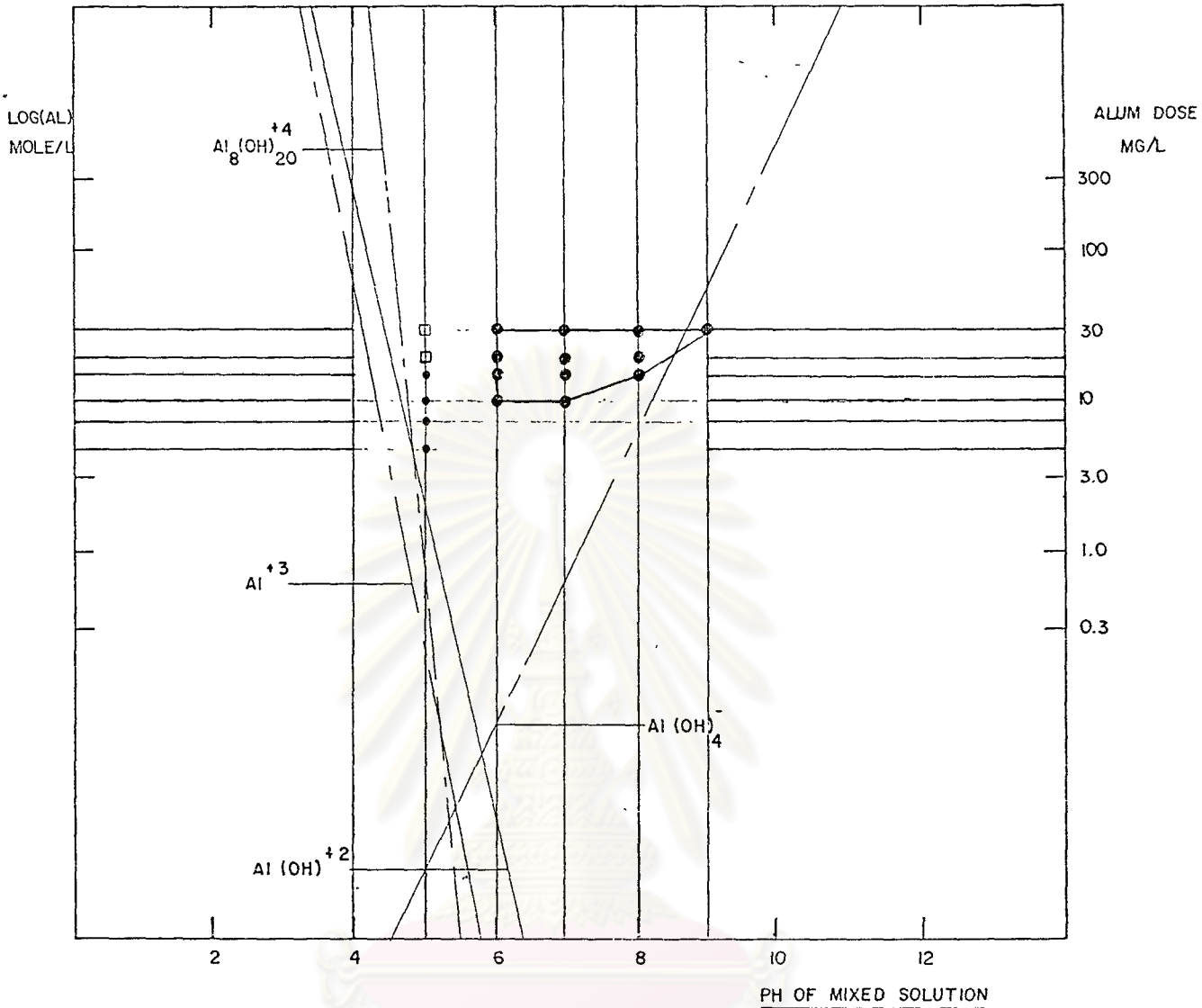
ภาพที่ 5.29 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU $G = 3000$ (วท)⁻¹

- \circ = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- \bullet = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption - destabilization)
- \square = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.30 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU $G = 5000$ (วท)⁻¹

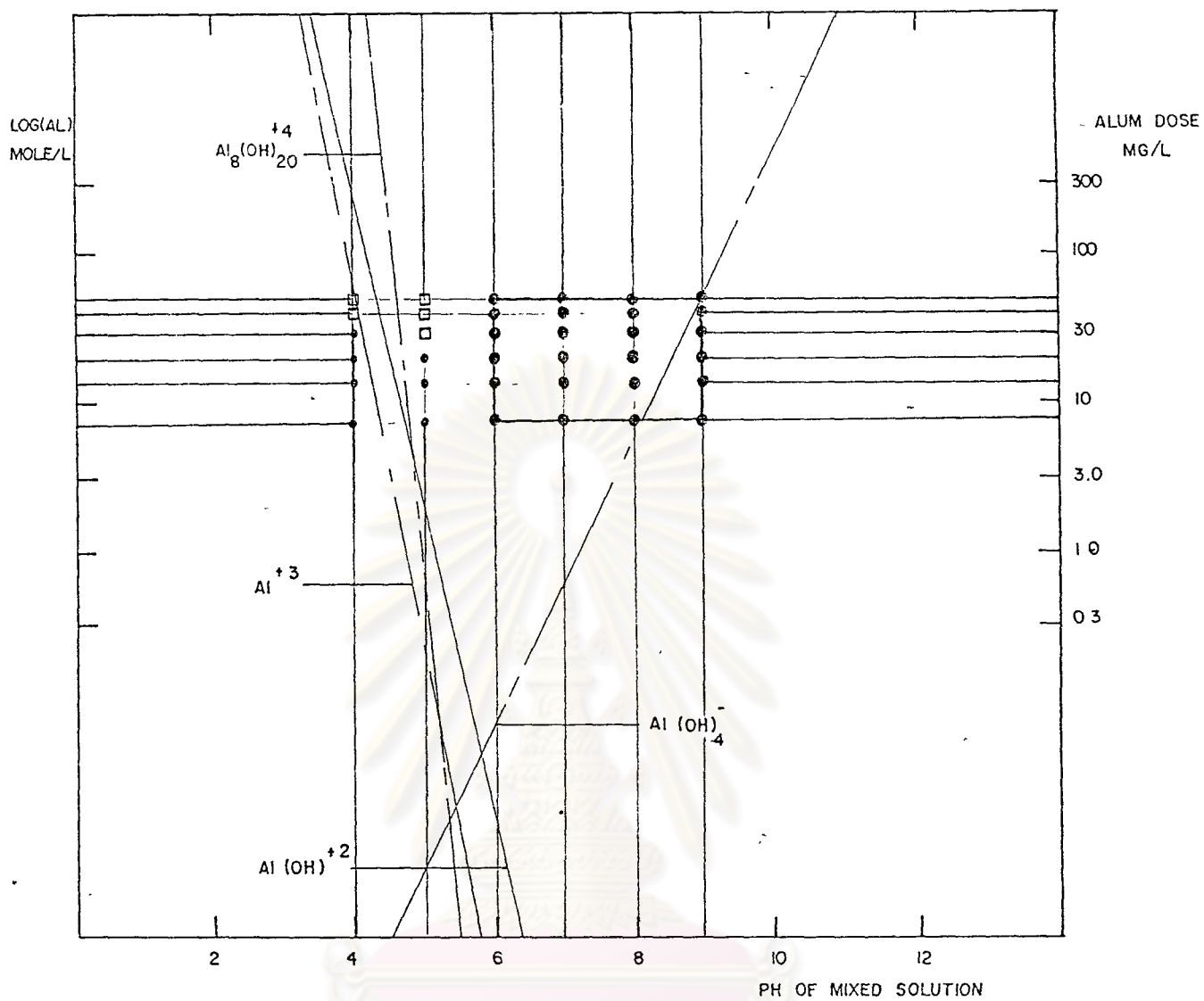
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.31 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU โดยจารย์เทศท์

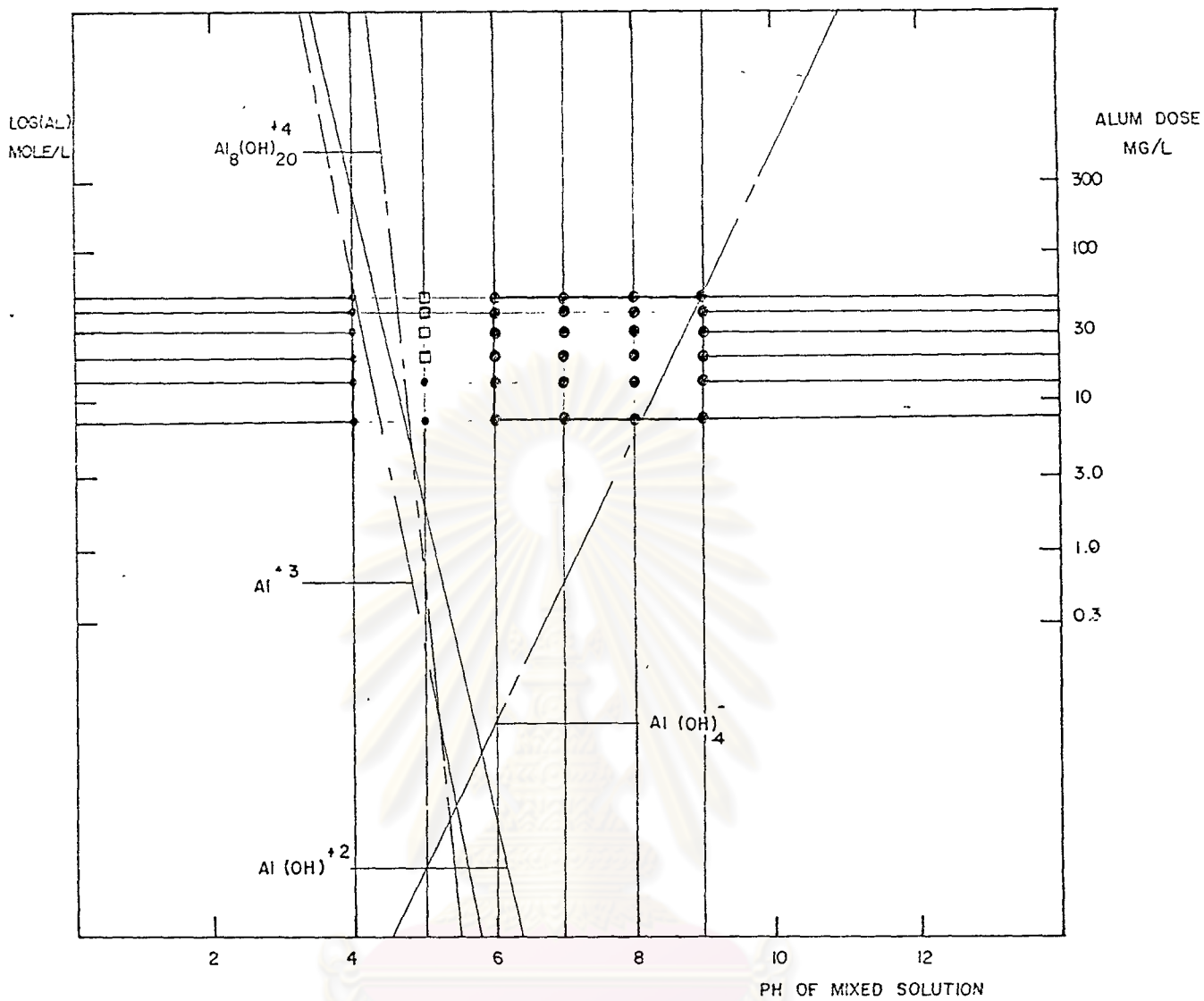
- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ (Adsorption - destabilization)
- = ปฏิกิริยาการผันกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)





ภาพที่ 5.32 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU โดยจาร์เทสต์

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)



ภาพที่ 5.33 ไดอะแกรมเสถียรภาพ (stability diagram) ของสารส้ม
ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU โดยจารย์เทศ

- = กลไกแบบกวาด (sweep coagulation)
- = กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ
(Adsorption - destabilization)
- = ปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ (Restabilization)

ภาพที่ 23 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 500 \text{ (วท)}^{-1}$ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่างพีเอช 6-9 ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 4 ปริมาณสารส้ม 7.5-30 มก/ล หลังจากนั้น เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มมากกว่า 30 มก/ล เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เช่นเดียวกับที่พีเอช 5 ปริมาณสารส้ม 7.5 - 50 มก/ล

ภาพที่ 5.24 ความขุ่น 100 NTU $G = 1000 \text{ (วท)}^{-1}$ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่างพีเอช 6-9 ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดที่พีเอช 4 ปริมาณสารส้ม 7.5-22.5 มก/ล หลังจากนั้นเกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มสูงกว่า 22.5 มก/ล ตั้งแต่ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับพีเอช 5 เกิดกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-15 มก/ล และเกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นถึง 50 มก/ล

ภาพที่ 5.25 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 3000 \text{ (วท)}^{-1}$ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่าง 6-9 ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ เกิดขึ้นที่พีเอช 4 ปริมาณสารส้ม 7.5-22.5 มก/ล หลังจากนั้น เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มสูงกว่า 22.5 มก/ล สำหรับที่พีเอช 5 เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพที่ปริมาณสารส้ม 7.5-15 มก/ล หลังจากนั้นเกิดกลไกแบบกวาด เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มขึ้นถึง 50 มก/ล

ภาพที่ 5.26 ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU $G = 5000 \text{ (วท)}^{-1}$ ขอบเขตของกลไกแบบกวาด อยู่ระหว่าง 6-9 ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ จะเกิดที่พีเอช 4 เมื่อปริมาณสารส้ม 7.5-22.5 มก/ล หลังจากนั้นเกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ ที่ปริมาณสารส้มมากกว่า 22.5 มก/ล สำหรับที่พีเอชสุดท้าย 5 เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ ตั้งแต่ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล

ภาพที่ 5.27-5.30 ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU $G = 500, 1000, 3000$ และ 5000 (วท)^{-1} ขอบเขตของการเกิดกลไกอยู่ในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ กลไกแบบกวาดเกิดขึ้นระหว่างพีเอช 6-9 และปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล สำหรับกลไกดูดติดผิว และทำลายประจุ

เกิดขึ้นที่พีเอช 4 และปริมาณสารส้มตั้งแต่ 7.5-50 มก/ล สำหรับพีเอช 5 เกิดกลไกแบบจุดติดผิว และทำลายประจุ ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-15 มก/ล หลังจากนั้นเกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มจนถึง 50 มก/ล

การกำหนดขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน ที่ได้จากการทดลองจาร์เทสต์ แสดงในภาพ ที่ 5.31 - 5.33

พิจารณาภาพที่ 5.31 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 20 NTU จะเห็นว่า กลไกแบบกวาดเกิดขึ้น ในช่วงพีเอช 6-9 อย่างไรก็ตาม ถ้าปริมาณสารส้มต่ำในช่วงพีเอชดังกล่าวนี้ ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่ำมาก จนกล่าวได้ว่ากลไกโคแอกกูเลชันเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจาก ความขุ่นเริ่มต้นต่ำมาก ทำให้ต้องการสารส้มในปริมาณสูง สำหรับเกิดกลไกแบบกวาด ที่ให้ประสิทธิภาพ การกำจัดความขุ่นอย่างเพียงพอ ได้แก่ปริมาณสารส้ม 5-7.5 มก/ล ที่พีเอช 6 และ 7 ปริมาณ สารส้ม 5-10 มก/ล ที่พีเอช 8 และปริมาณสารส้ม 5-20 มก/ล ที่พีเอช 9 สำหรับกลไกแบบ จุดติดผิวและทำลายประจุ ผลปรากฏว่าเกิดขึ้นที่ค่าพีเอชต่ำคือ 5 ที่ปริมาณสารส้ม 5-15 มก/ล และ เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มจนถึง 30 มก/ล

ภาพที่ 5.32 ที่ความขุ่นเริ่มต้น 100 NTU จะเห็นว่ากลไกแบบกวาด เกิดขึ้นในช่วง พีเอช 6-9 ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล ในขณะที่กลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ เกิดขึ้น ในช่วงพีเอช 4 และ 5 ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-30 และ 7.5-22.5 มก/ล ตามลำดับ ปริมาณ สารส้มที่เพิ่มมากขึ้นจากนั้นจนถึง 50 มก/ล จะทำให้เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพในที่สุด

ภาพที่ 5.33 ความขุ่นเริ่มต้น 500 NTU จะเห็นว่ากลไกแบบกวาด เกิดขึ้นในช่วง พีเอช 6-9 ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล ส่วนกลไกแบบจุดติดผิวและทำลายประจุ เกิดขึ้นที่ พีเอช 4 และ 5 เมื่อปริมาณสารส้ม 7.5-15 มก/ล ทั้งนี้ ปริมาณสารส้มที่มากขึ้นถึง 50 มก/ล ทำให้เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ

5.3 ผลของความเร็วแกระเตียนที่มีต่อกลไกโคแอกกูเลชัน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มและความขุ่นตกค้าง ในภาพที่ 5.1 ถึง 5.18 ของ หัวข้อ 5.1 แสดงให้เห็นว่า ที่ความขุ่นเริ่มต้น และพีเอชสุดท้าย หนึ่ง ๆ กลไกโคแอกกูเลชัน เกิดขึ้น มีแนวโน้มเป็นกลไกประเภทเดียวกัน โดยไม่ขึ้นกับค่า G ที่แปรจาก $< 500 \text{ (วท)}^{-1}$ ของ จาร์เทสต์ และ 500, 1000, 3000 และ 5000 $(\text{วท})^{-1}$ ของเบลนเดอร์ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็น

เห็นว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ที่ความขุ่นเริ่มต้น และพีเอชสุดท้าย หนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับ ปริมาณสารส้ม โดยไม่ปรากฏแนวโน้มอย่างเด่นชัดว่า ขึ้นอยู่กับค่าของ G ทั้งในกลไกแบบกวาดและ กลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ พบว่า ค่า G ที่สูง มีแนวโน้มที่จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นต่ำลง

ขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน ในภาพที่ 5.19 ถึง 5.33 ของหัวข้อ 5.2 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณสารส้มและพีเอชสุดท้าย จะมีบทบาทหลักในการกำหนดขอบเขตที่แน่นอนของกลไก ที่เกิดขึ้น ไม่ว่าที่ความขุ่นเริ่มต้น และค่า G ใด ๆ กล่าวคือ เมื่อพีเอชสุดท้าย มีค่าจาก 6 ถึง 9 จะเกิดกลไกแบบกวาด ทุกค่าปริมาณสารส้มจาก 7.5 ถึง 50 มก/ล ที่ $G < 500 (\text{วท})^{-1}$ เมื่อพีเอชสุดท้ายมีค่าจาก 4 ถึง 5 จะเกิดกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ ตลอดจนปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ โดยเริ่มจากกลไกดูดติดผิวและทำลายประจุ ที่ปริมาณสารส้ม 7.5-50 มก/ล เมื่อพีเอชสุดท้าย 4 และปริมาณสารส้ม 7.5-22.5 มก/ล เมื่อพีเอชสุดท้าย 5 จากนั้นจึงเกิดปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ เมื่อใช้ปริมาณสารส้มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่พีเอชสุดท้าย 5 ขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชันดังกล่าวมานี้ ครอบคลุมเกือบทุกความขุ่นเริ่มต้น และค่า G จนกล่าวได้ว่า ความขุ่นเริ่มต้นและค่า G มีบทบาทน้อยมากในการกำหนดขอบเขตการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน เมื่อเทียบกับพีเอชสุดท้าย และปริมาณสารส้ม

จากผลการทดลองประเมินได้ว่า ค่า G ไม่มีอิทธิพลที่เด่นชัด ในการกำหนดประเภทและขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า G ไม่มีผลที่เด่นชัด ในการกำหนดระดับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ทั้งในกลไกแบบกวาดและกลไกแบบดูดติดผิวและทำลายประจุ แต่อาจมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์คืนกลับของเสถียรภาพ กล่าวคือ ค่า G ที่สูงนั้น อาจให้ระดับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นต่ำลง ในการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว อนึ่ง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า พีเอชสุดท้าย และปริมาณสารส้ม มีบทบาทหลักในการกำหนดประเภทและขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน ในขณะที่ไม่ปรากฏบทบาทที่เด่นชัดดังกล่าว ในกรณีของความขุ่นเริ่มต้น

5.4 ความเหมาะสมของการใช้จาร์เทสท์ ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ความเหมาะสมของการใช้จาร์เทสท์ ในแง่ของการวิจัยนี้ มุ่งพิจารณาในด้านของค่า G ไม่เกิน $500 (\text{วท})^{-1}$ ฉะนั้น ถ้าปรากฏว่า ค่า G สูงกว่านี้ มีอิทธิพลอย่างเด่นชัดต่อการเกิดกลไกโคแอกกูเลชัน และระดับประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นของกลไกที่เกิดขึ้น ก็อาจเป็นไปได้ว่า การใช้จาร์เทสท์ในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน ยังขาดความพร้อมมูลในประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับค่า G หรืออีกนัยหนึ่ง ควรได้มีการดัดแปลงจาร์เทสท์ให้ทำงานได้ครอบคลุมค่า G ที่สูงขึ้น โดยอาจ

ใช้อุปกรณ์เบลนเดอร์ในการกวนเร็ว อันจะมีผลให้สามารถพิจารณาข้อมูลจากจารีเทสที่ได้กว้างขวางขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของกลไกโคแอกกูเลชัน

เมื่อเปรียบเทียบระหว่าง การใช้จารีเทส ที่ค่า G ต่ำกว่า 500 (วท)^{-1} กับการใช้เบลนเดอร์ที่ค่า G 500, 1000, 3000 และ 5000 $(\text{วท})^{-1}$ แสดงว่าทั้งสองกรณีให้ผลในลักษณะเดียวกันโดยตลอด ทั้งในด้านประเภทของกลไกที่เกิดขึ้น และระดับประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่แปรตามปริมาณสารส้ม อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่า ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น ที่ได้จากจารีเทส จะมีค่าสูงกว่าที่ได้จากเบลนเดอร์เล็กน้อยเกือบทุกการทดลอง นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลการทดลอง ซึ่งแสดงในหัวข้อ 5.2 ก็พบว่า ขอบเขตของกลไกโคแอกกูเลชัน เมื่อใช้จารีเทสและเบลนเดอร์ มีลักษณะเดียวกัน โดยถูกกำหนดด้วยพีเอชสุดท้าย และปริมาณสารส้ม ในช่วงค่าต่าง ๆ ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวนี้ เป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3 กล่าวคือ ความแตกต่างระหว่างจารีเทส กับเบลนเดอร์ ในด้านค่า G ไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างข้อมูลที่ได้อย่างเด่นชัดแต่อย่างใด ทั้งนี้ เนื่องจากค่า G ไม่มีอิทธิพลของเด่นชัด ต่อกลไกโคแอกกูเลชัน ระดับประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่นของโคแอกกูเลชันนั่นเอง

ดังนั้น จึงประเมินจากการวิจัยนี้ได้ว่า การใช้เบลนเดอร์เพื่อให้ได้ค่า G สูงกว่าที่ได้จากจารีเทสในการกวนเร็ว ยังคงให้ผลในการพิจารณาข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านกลไกโคแอกกูเลชัน ในลักษณะเดิม หรืออีกนัยหนึ่งจารีเทสที่ยังคงเป็นอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมในการควบคุมกระบวนการโคแอกกูเลชัน แม้จะให้ค่า G ของการกวนเร็ว ต่ำกว่าที่เกิดขึ้นในระบบจริงก็ตาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย