

ผลและวิจารณ์

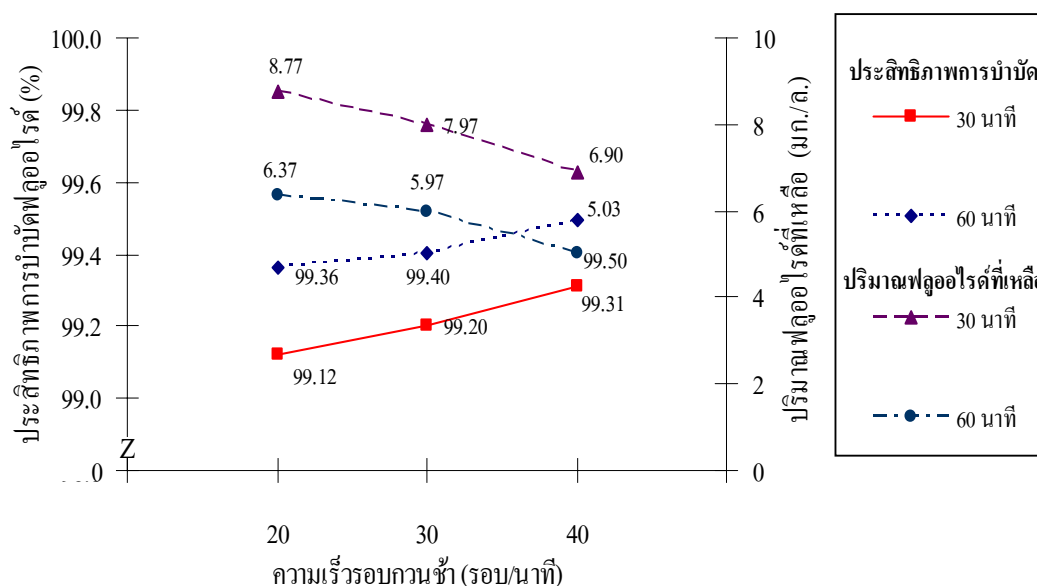
ในการศึกษานี้เป็นการทดลองเพื่อนำผลมาปรับปรุงกระบวนการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีโดยวิธีจาร์เทสต์โดยใช้ปูนขาวและสารส้ม ในการศึกษานี้จะใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์และน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม น้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่นำมาใช้จะมีค่าความเข้มข้นฟลูออไรด์อยู่ในช่วง 1,000–10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ในการทดลองศึกษาในการบำบัดฟลูออไรด์ต่อไป

1. การหาความเร็วรอบกวนช้าและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียตัวอย่างสังเคราะห์

จากการศึกษาความเร็วรอบในการกวนช้าและเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ โดยใช้ตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และเติมปูนขาว 30 มิลลิลิตร ซึ่งมีเข้มข้น 4.5×10^3 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วทำการกวนเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที ต่อจากนั้นกวนช้าด้วยความเร็วรอบ 20 30 และ 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และภาพที่ 11

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองหารอบในการกวนช้าและเวลาที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ เมื่อรอบกวนช้าและเวลาต่างกัน

ความเร็ว รอบกวนช้า (รอบ/นาที)	เวลา 30 นาที		เวลา 60 นาที	
	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
20	8.77	99.12	6.37	99.36
30	7.97	99.20	5.97	99.40
40	6.90	99.31	5.03	99.50



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดเมื่อรอบกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้าต่างกัน

จากการทดลองพบว่า รอบการกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้าที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเร็วรอบในการกวนช้าที่น้อยเกินไปทำให้อนุภาคขนาดเล็กมีโอกาสชนกันเพื่อจับรวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่มีน้อยลง แต่หากกวนเร็วเกินไปก็จะทำให้อนุภาคจับรวมตัวกันแล้วแตกออกได้ และจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เวลาในการกวนช้านานขึ้นประสิทธิภาพในการบำบัดยิ่งดีขึ้นเพราะทำให้อนุภาคขนาดเล็กมีเวลาในการรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ได้มากขึ้น (มันสิน, 2538) รอบการกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้าในทั้ง 3 ช่วงที่ทำการศึกษานั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนัก จึงสามารถเลือกใช้ทั้งรอบการกวนช้าและระยะเวลาในการกวนช้าได้ทั้ง 3 ช่วง

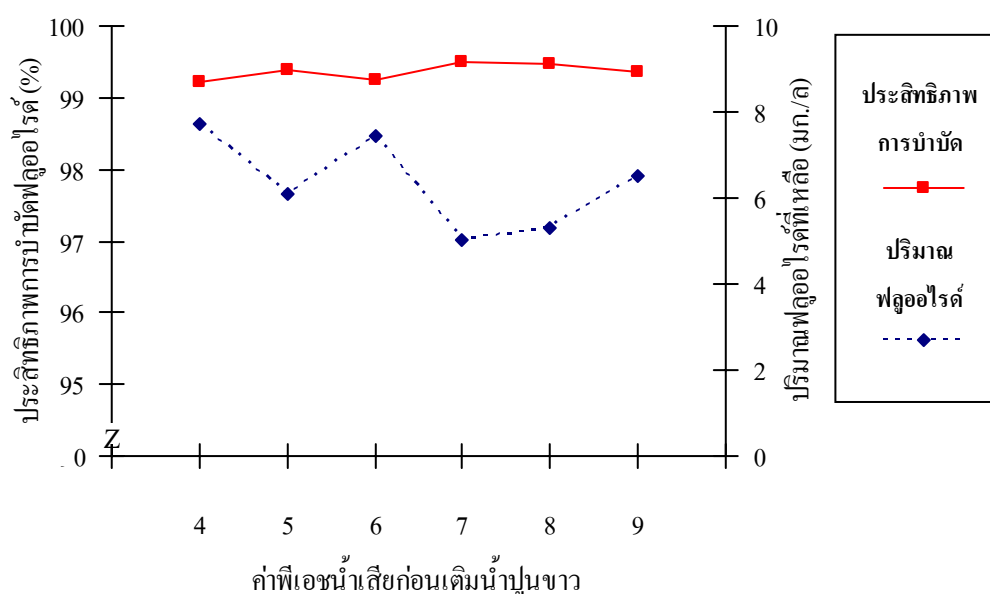
แต่ในการศึกษาทดลองครั้งนี้ ได้พิจารณาเลือกความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนช้าที่เหมาะสมคือ 40 รอบ/นาที และใช้เวลาในการกวนช้า 60 นาที เพื่อให้สอดคล้องกับกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และสามารถนำผลการศึกษาไปเปรียบเทียบกับผลการบำบัดน้ำเสียของโรงงานได้ โดยจะใช้เวลาเร็วรอบและระยะเวลานี้ในการทดลองขั้นต่อไป

2. การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

จากการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ โดยใช้น้ำตัวอย่างสังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และเติมน้ำปูนขาว 30 มิลลิลิตร ซึ่งเข้มข้น 15×10^3 มิลลิกรัม/ลิตร แล้วทำการกวนเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นกวนต่อด้วยการกวนช้า ด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามผลการทดลองที่ได้ในข้อ 1 ทำการศึกษาค่าพีเอชทั้งหมด 6 ค่า คือ 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 12

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์เมื่อพีเอชมีค่าต่างๆ กัน

ค่าพีเอชของน้ำ ตัวอย่างก่อนเติม น้ำปูนขาว	ค่าพีเอชของน้ำ ตัวอย่างหลังเติม น้ำปูนขาว	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
4	12.46	7.70	99.23
5	12.47	6.10	99.39
6	12.47	7.44	99.26
7	12.47	5.03	99.50
8	12.47	5.30	99.47
9	12.48	6.50	99.35



ภาพที่ 12 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่ปล่อยจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดเมื่อพีเอชเริ่มต้นของน้ำตัวอย่างสังเคราะห์แตกต่างกัน

จากการทดลองพบว่า เมื่อพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัดแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ เนื่องมาจากการที่รัศมีของฟลูออไรด์ไอออน (fluoride ion: F^-) และไฮดรอกไซด์ไอออน (hydroxide ion: OH^-) มีขนาดใกล้เคียงกันและสามารถแทนที่กันได้ จึงทำให้ในน้ำที่มีพีเอชสูงๆ ฟลูออไรด์ไอออนจะถูกแทนที่ด้วยไฮดรอกไซด์ไอออนได้ (Hem, 1970) และเมื่อพิจารณาค่าพีเอชหลังเติมน้ำปูนขาวพบว่า ค่าพีเอชที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก เพราะความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออนจากน้ำปูนขาวมีความเข้มข้นสูงมาก ถึงแม้จะสะเทินกับไฮโดรเจนไอออน (hydrogen ion: H^+) ในน้ำตัวอย่างที่มีสถานะเป็นกรดก็ยังคงมีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนสูงอยู่ จึงทำให้พีเอชที่วัดได้มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของสุรศักดิ์ (2541) ที่ได้ทำการศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมของน้ำเสียก่อนการบำบัดฟลูออไรด์โดยการตกตะกอนด้วยปูนขาว ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า พีเอชของน้ำเสียก่อนเข้าระบบการบำบัดฟลูออไรด์โดยการตกตะกอนด้วยปูนขาวสามารถเข้าระบบได้ตั้งแต่ 4-9 ซึ่งการทดลองในขั้นต่อไปจะไม่มีการปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์อีก เนื่องจากน้ำเสียสังเคราะห์มีพีเอช 6.5-8 ซึ่งอยู่ในช่วงที่สามารถเข้าสู่ระบบการบำบัดได้เลย

3. การหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ และน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เมื่อนำน้ำประปาเตรียมน้ำปูนขาว

3.1 น้ำตัวอย่างสังเคราะห์

ในการศึกษาหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์นั้น ได้แบ่งกลุ่มน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ตามความเข้มข้นของฟลูออไรด์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1,000 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อให้ครอบคลุมค่าฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ส่วนน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดฟลูออไรด์นั้นเตรียมโดยใช้น้ำประปาผสมกับปูนขาวโดยน้ำปูนขาวที่ได้มีความเข้มข้น 150 กรัม/ลิตร

3.1.1 น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

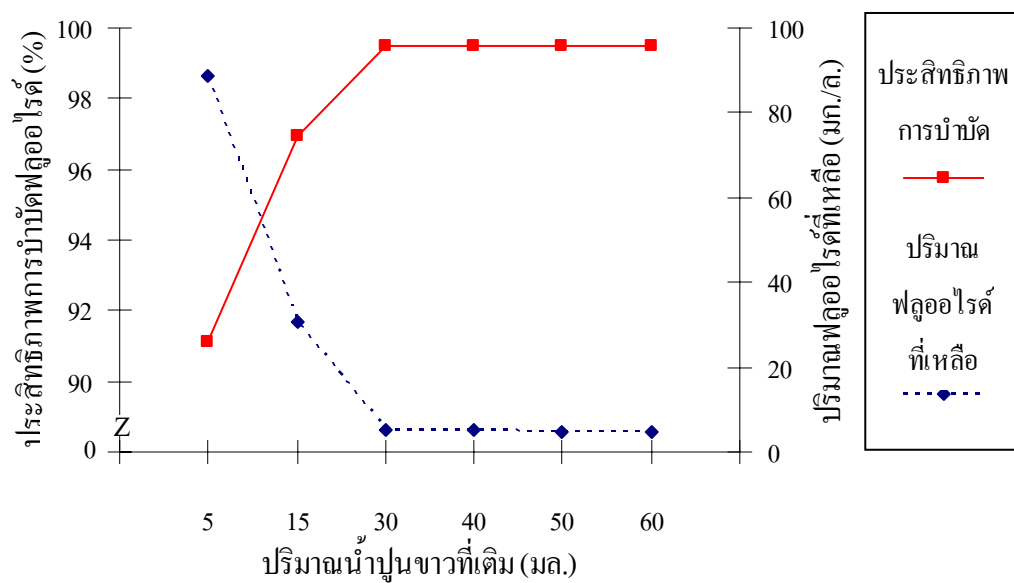
ในการศึกษาใช้น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัดเพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 13

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากการบำบัดในช่วงแรก ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งคงที่ เนื่องมาจากฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) จึงทำให้ไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลง

จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์ด้วยน้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 30 ถึง 60 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 30 มิลลิลิตร เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะใช้ปริมาณน้ำปูนขาวน้อยกว่าและตั้งแต่ปริมาณน้ำปูนขาว 40 มิลลิลิตรไปแล้ว ประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นทีละน้อยๆ

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เติม (มล.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
5	2.5	88.63	91.14
15	7.5	30.85	96.92
30	15	5.30	99.47
40	20	5.16	99.48
50	25	4.90	99.51
60	30	4.90	99.51



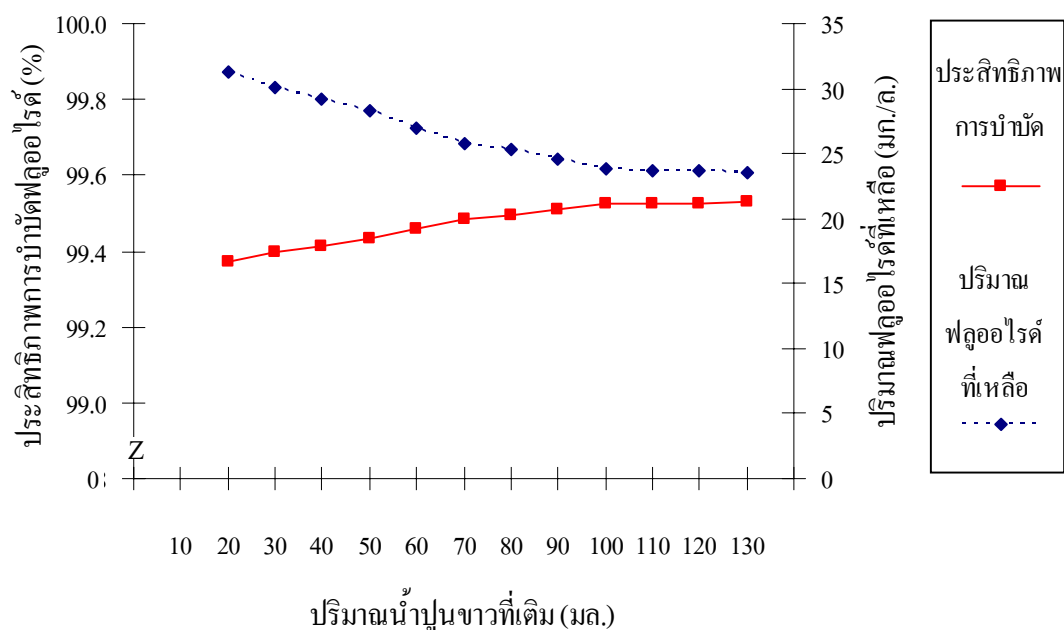
ภาพที่ 13 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

3.1.2 น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ในการศึกษาใช้น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัดเพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 และภาพที่ 14

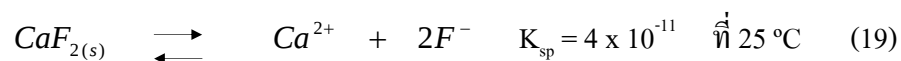
ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาวที่เติม (มก.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
20	10	31.30	99.37
30	15	30.08	99.40
40	20	29.25	99.41
50	25	28.23	99.44
60	30	27.02	99.46
70	35	25.80	99.48
80	40	25.32	99.49
90	45	24.56	99.51
100	50	23.81	99.52
110	55	23.70	99.53
120	60	23.65	99.53
130	65	23.59	99.53



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ไปทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเนื่องมาจากฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) แต่อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ให้มีค่าต่ำกว่าค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ของแคลเซียมฟลูออไรด์ (Benefield, 1982) (แสดงดังสมการที่ 19) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ การใช้น้ำปูนขาวในปริมาณมากๆ จะไปเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลายทำให้ตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายออกมาได้มากขึ้น (กิตติพร, 2537) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่เหลือน้ำลดลงจากเดิมเล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ ทำให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการเจือจางฟลูออไรด์จึงทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลงได้น้อย



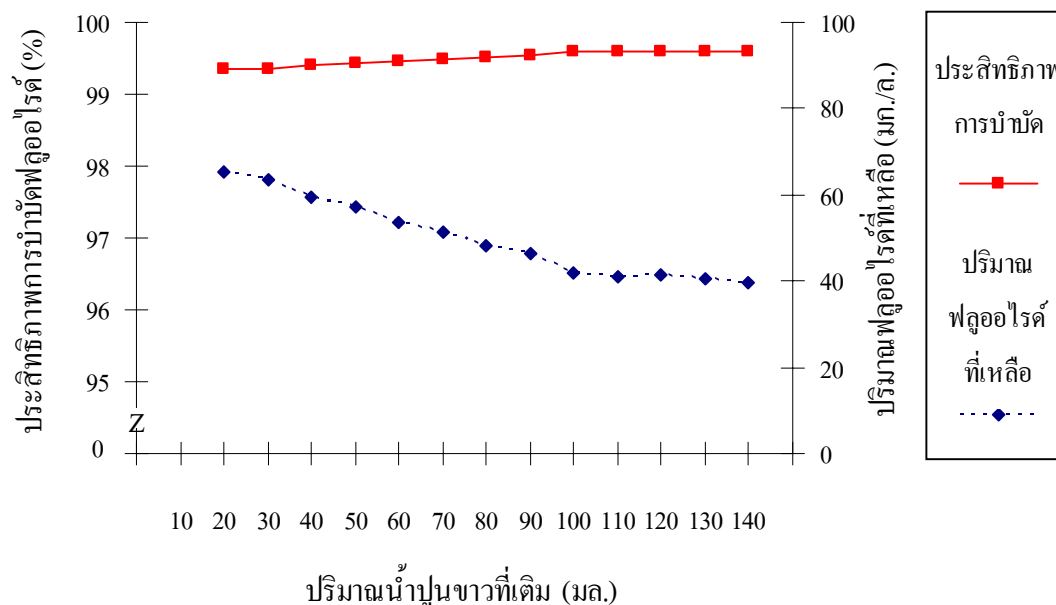
จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์ด้วยน้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 20 ถึง 130 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่หากเลือกใช้น้ำปูนขาวที่มีปริมาณสูงเกินกว่า 50 มิลลิลิตร จะทำให้เพิ่มปริมาณน้ำเสียในระบบมากเกินไป เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำปูนขาวที่ 20-50 มิลลิลิตร พบว่า มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน จึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 30 มิลลิลิตร เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์ 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะใช้สารเคมีน้อยกว่า

3.1.3 น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร

ในการศึกษาใช้น้ำตัวอย่างฟลูออไรด์สังเคราะห์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัดเพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5 และภาพที่ 15

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาวที่เติม (มล.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
20	10	65.35	99.35
30	15	63.60	99.36
40	20	59.28	99.41
50	25	57.43	99.43
60	30	53.83	99.46
70	35	51.56	99.48
80	40	48.37	99.52
90	45	46.21	99.54
100	50	41.79	99.58
110	55	41.17	99.59
120	60	40.94	99.59
130	65	40.63	99.59
140	70	39.79	99.60
150	75	39.48	99.61



ภาพที่ 15 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำตัวอย่างสังเคราะห์และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์สังเคราะห์เข้มข้น 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเนื่องจากฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) แต่อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ให้มีค่าต่ำกว่าค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ของแคลเซียมฟลูออไรด์ (แสดงดังสมการที่ 19) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ การใช้ปูนขาวในปริมาณมากๆ จะไปเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลายทำให้ตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายออกมาได้มากขึ้น (กิตติพร, 2537) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่เหลืออยู่ลดลงจากเดิมเล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ ทำให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการเจือจางฟลูออไรด์จึงทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลงได้น้อย ซึ่งผลการ

ทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์เข้มข้น 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ฟลูออไรด์ด้วยน้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 20 ถึง 150 มิลลิกรัม มีประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่หากเลือกใช้ น้ำปูนขาวที่มีปริมาณสูงเกินกว่า 50 มิลลิกรัม จะทำให้เพิ่มปริมาณน้ำเสียในระบบมากเกินไป เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำปูนขาวที่ 40 และ 50 มิลลิกรัม มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน จึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 40 มิลลิกรัม เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะใช้สารเคมีน้อยกว่า

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำเสียและความต้องการปูนขาว พบว่า น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีความเข้มข้น 1,000 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีความต้องการใช้น้ำปูนขาวในการบำบัดฟลูออไรด์แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณและความเข้มข้นของน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์

น้ำตัวอย่าง สังเคราะห์ ฟลูออไรด์เข้มข้น (มก./ล.)	ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เหมาะสม (มล.)	ความเข้มข้นของ น้ำปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
1,000	30	15	5.30	99.47
5,000	30	15	30.08	99.40
10,000	40	20	59.28	99.41

ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์เข้มข้น 1,000 5,000 และ 10,000 มก./ล. เท่ากับ 15 15 และ 20 ก./ล. เมื่อคิดเป็นปริมาณฟลูออไรด์ที่ถูกกำจัดต่อปูนขาว 1 กรัม จะได้ 66.31 331.33 และ 497.03 มก.ฟลูออไรด์/ก.ปูนขาว ตามลำดับ

จะเห็นว่า สัดส่วนปริมาณฟลูออไรด์ที่ถูกกำจัดต่อปูนขาว 1 กรัม ของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์สูง สามารถกำจัดฟลูออไรด์ได้มากกว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์ต่ำ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการตกตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์ที่จับกันเป็นอนุภาคนาขนาดใหญ่เมื่อเวลาตกลงจะกวาดเอาฟลูออไรด์ไออนลงมาด้วย (กลไกแบบ sweep flocculation (Gregory1 and Duan, 2001)) จึงทำให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์สูงมีโอกาสดังกล่าวที่จะถูกกำจัดได้มากกว่า จากตารางที่ 6 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีประสิทธิภาพที่สูงมาก คือ 99 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แต่การบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์เข้มข้น 5,000 และ 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร นั้นยังคงมีปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกรมอุตสาหกรรมการแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศ กรมอุตสาหกรรมการแห่งประเทศไทย, 2530) จึงควรมีการนำน้ำในส่วนนี้ไปบำบัดต่อเพื่อให้มีปริมาณฟลูออไรด์เหลือตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ส่วนน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีปริมาณฟลูออไรด์เหลือ 5.30 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงตามเกณฑ์มาตรฐานจึงอาจไม่จำเป็นต้องนำไปบำบัดเพิ่ม

3.2 น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

กระบวนการผลิตของโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมก่อให้เกิดน้ำเสียซึ่งมีฟลูออไรด์เข้มข้นอยู่ระหว่าง 500-25,000 มิลลิกรัม/ลิตร และเพื่อให้ครอบคลุมค่าฟลูออไรด์ไอออนในน้ำเสียจากโรงงาน จึงได้แบ่งกลุ่มความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำเสียออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1,010 5,229 และ 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อการศึกษาหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ ส่วนน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดฟลูออไรด์นั้นเตรียมโดยใช้น้ำประปาผสมกับปูนขาว โดยน้ำปูนขาวที่ได้มีความเข้มข้น 150 กรัม/ลิตร

3.2.1 ศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองบำบัดฟลูออไรด์ ได้ใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ซึ่งน้ำเสียในส่วนนี้มาจากกระบวนการผลิตซึ่งใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric: HF) ในการสกัดแร่แทนทาลัมออกจากกากแร่ โดยในกระบวนการผลิตจะก่อให้เกิดน้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ น้ำเสีย high fluoride ซึ่งมีค่าฟลูออไรด์มากกว่า 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ขึ้นไป และน้ำเสีย low fluoride ซึ่งมีค่าฟลูออไรด์ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

การศึกษาคูณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมก่อนการบำบัดจะทำให้ทราบถึงองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำเสีย และทำให้ทราบถึงแนวทางที่จะนำมาใช้ในการทดลองบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์ให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 7 แสดงคุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

	หน่วย	น้ำเสีย Low fluoride	น้ำเสีย High fluoride
อัตราการเกิดน้ำเสีย	ลบ.ม./วัน	215	60
ค่าพีเอชของน้ำเสีย		6	8
ความเข้มข้นของฟลูออไรด์	มก/ล.	500 - 5,000	5,000 - 25,000
ความเข้มข้นของโซเดียม	มก/ล.	500	8,000
ความเข้มข้นของโปแตสเซียม	มก/ล.	500	10,000
ความเข้มข้นของคลอไรด์	มก/ล.	500	1,000

จากคุณลักษณะน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่ได้แสดงตามตารางที่ 16 พบว่า น้ำเสียทั้ง 2 ชนิด คือ น้ำเสีย high fluoride มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์อยู่ระหว่าง 5,000-25,000 มิลลิกรัม/ลิตร และน้ำเสีย low fluoride มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์อยู่ระหว่าง 500- 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในการศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียโรงงาน นอกจากจะพบฟลูออไรด์ไอออนที่เป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีไอออนอื่นๆ ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสียด้วย เช่น โซเดียมไอออน โพแทสเซียมไอออน และคลอไรด์ไอออน ซึ่งไอออนทั้ง 3 ชนิด นี้มีความเข้มข้นสูงมาก แต่ยังไม่เกินค่ามาตรฐานของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยที่กำหนดไว้สำหรับของคลอไรด์ไม่เกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2530) ส่วนโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนไม่มีเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ ค่าพีเอชของน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด มีสภาวะที่ค่อนข้างเป็นกลางคือ มีพีเอชอยู่ระหว่าง 6-8 ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่การนิคมอุตสาหกรรมฯ กำหนดไว้ให้อยู่ระหว่าง 5-9 (ประกาศ การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2530) และอยู่ในช่วงที่สามารถเข้าสู่กระบวนการบำบัดได้เลยโดยไม่ต้องปรับพีเอชของน้ำเสียตามผลการทดลองที่ได้ในข้อ 2

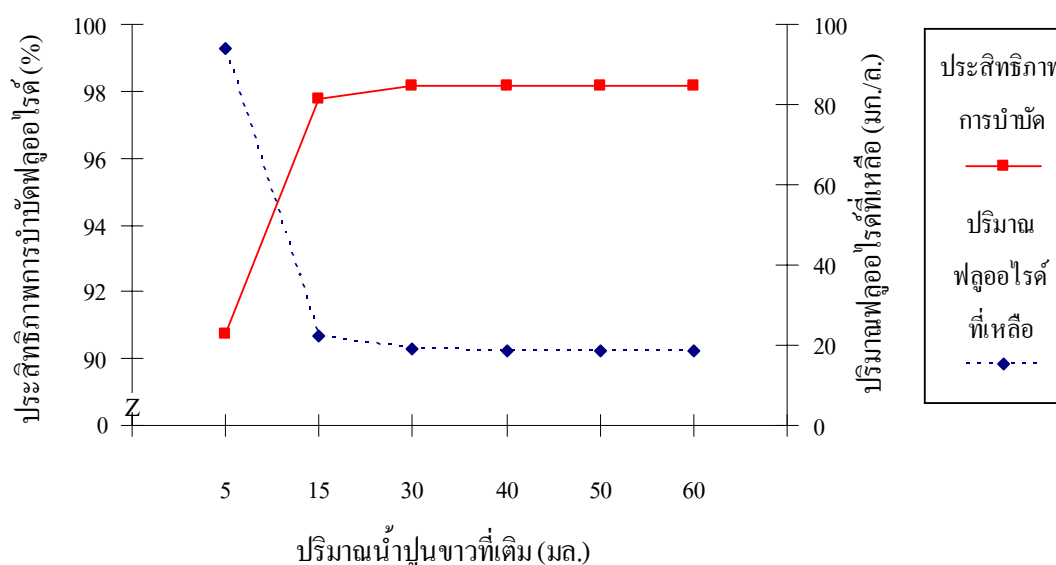
3.2.2 น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/

ลิตร

ในการศึกษาใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมซึ่งมีฟลูออไรด์เข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัด เพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 8 และภาพที่ 16

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เติม (มล.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
5	2.5	93.90	90.73
15	7.5	22.40	97.79
30	15	18.89	98.14
40	20	18.59	98.16
50	25	18.59	98.16
60	30	18.59	98.16



ภาพที่ 16 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือจากน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากการบำบัดในช่วงแรก ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งคงที่ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไอออนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งคงที่ เนื่องมาจากฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) จึงทำให้ไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลง

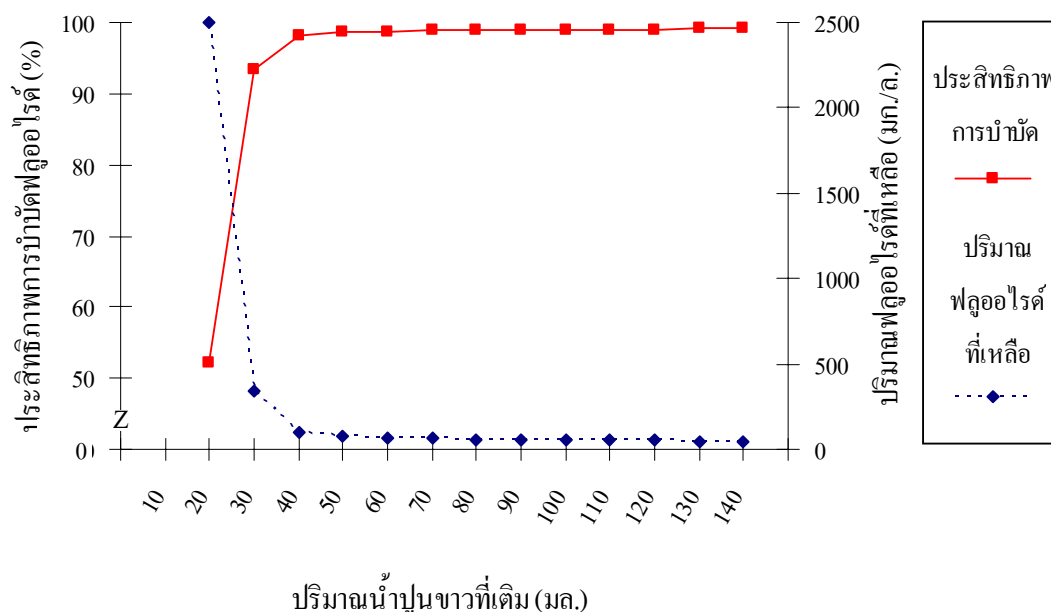
จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม โดยใช้น้ำปูนขาวปริมาณตั้งแต่ 5-60 มิลลิลิตร เมื่อเติมน้ำปูนขาวปริมาณ 5 ถึง 30 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์มีค่าแตกต่างกัน และเมื่อเติมน้ำปูนขาวปริมาณ 30, 40, 50 และ 60 มิลลิลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าแตกต่างกันน้อยมาก เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมี ดังนั้นจึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 30 มิลลิลิตร เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมเข้มข้น 1,010 มิลลิกรัม/ลิตร

3.2.3 น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมฟลูออไรด์เข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร

ในการศึกษาใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมซึ่งมีฟลูออไรด์เข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัด เพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 9 และภาพที่ 17

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เติม (มก.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
20	10	2,499.17	52.20
30	15	344.09	93.42
40	20	98.42	98.12
50	25	72.81	98.61
60	30	67.78	98.70
70	35	61.00	98.83
80	40	58.36	98.88
90	45	56.04	98.93
100	50	54.93	98.95
110	55	53.50	98.98
120	60	51.95	99.01
130	65	47.21	99.10
140	70	45.99	99.12



ภาพที่ 17 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเนื่องมาจากฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำเสียมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) แต่อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ให้มีค่าต่ำกว่าค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ของแคลเซียมฟลูออไรด์ (แสดงดังสมการที่ 19) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ การใช้ปูนขาวในปริมาณมากๆ จะไปเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลายทำให้ตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายออกมาได้มากขึ้น (กิตติพร, 2537) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่เหลือน้ำเสียลดลงจากเดิมเล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ ทำให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการเจือจางฟลูออไรด์จึงทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลงได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำด้วยอย่างสังเคราะห์

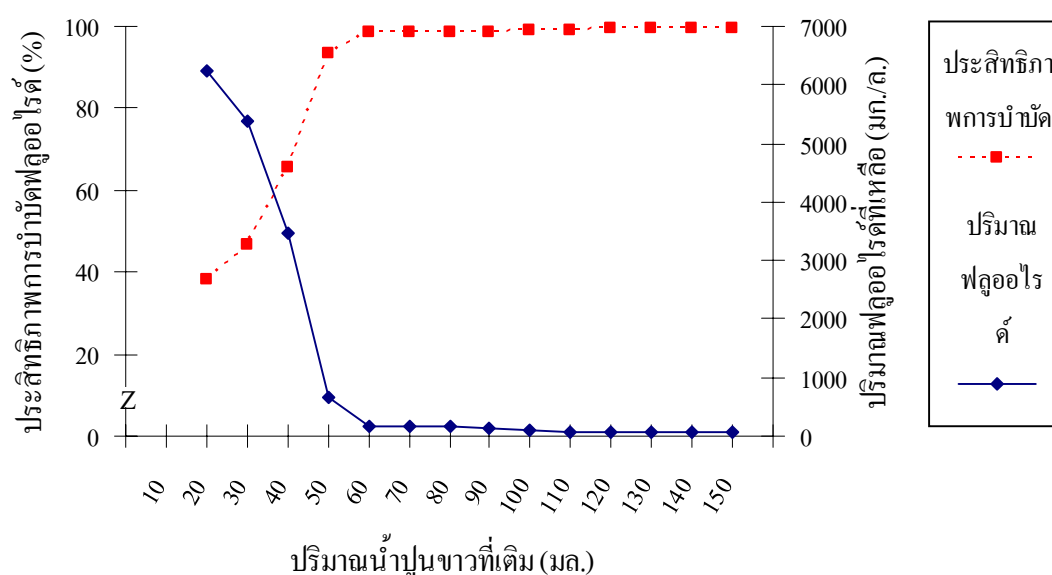
จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมด้วย น้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 20-40 มิลลิลิตรมีประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่ที่ปริมาณน้ำปูนขาวตั้งแต่ 40 มิลลิลิตร เป็นต้นไป มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมีจึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 40 มิลลิลิตร เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 5,229 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะใช้ปริมาณน้ำปูนขาวน้อยกว่าและเมื่อเติมปริมาณน้ำปูนขาวตั้งแต่ 40 มิลลิลิตร เป็นต้นไป ประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

3.2.3 น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร

ในการศึกษาใช้น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมซึ่งมีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร และไม่ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบบำบัด เพราะประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกันมากนักตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 2 แล้วทำการเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 10 และภาพที่ 18

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสม ในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร โดยเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน

ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เติม (มก.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
20	10	6,241.25	38.22
30	15	5,397.30	46.57
40	20	3,481.47	65.54
50	25	646.04	93.60
60	30	161.33	98.40
70	35	155.33	98.47
80	40	150.05	98.51
90	45	128.87	98.72
100	50	90.58	99.10
110	55	81.75	99.19
120	60	70.52	99.30
130	65	67.58	99.33
140	70	61.42	99.39



ภาพที่ 18 แสดงปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำเสียและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อปริมาณของน้ำปูนขาวที่เติมต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเนื่องจากฟลูออไรด์ที่เหลือน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) แต่อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ให้มีค่าต่ำกว่าค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ของแคลเซียมฟลูออไรด์ (แสดงดังสมการที่ 19) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ การใช้ปูนขาวในปริมาณมากๆ จะไปเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลายทำให้ตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายออกมาได้มากขึ้น (กิตติพร, 2537) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่เหลือน้ำลดลงจากเดิมเล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ ทำให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการเจือจางฟลูออไรด์จึงทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลงได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์

จะสังเกตได้ว่า การบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมด้วยน้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 20-60 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมาก และเมื่อเติมน้ำปูนขาวปริมาณตั้งแต่ 60 มิลลิลิตร เป็นต้นไป ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น เพื่อเป็นการประหยัดสารเคมีจึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 60 มิลลิลิตร เป็นปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะใช้ปริมาณน้ำปูนขาวน้อยกว่าและปริมาณน้ำปูนขาวตั้งแต่ 60 มิลลิลิตร ขึ้นไป ประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำเสียและความต้องการปูนขาว พบว่า น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีความเข้มข้น 1,010 5,229 และ 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร มีความต้องการใช้น้ำปูนขาวในการบำบัดฟลูออไรด์แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงปริมาณและความเข้มข้นของน้ำปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

น้ำเสียโรงงาน ฟลูออไรด์เข้มข้น (มก./ล.)	ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เหมาะสม (มล.)	ความเข้มข้นของ น้ำปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
1,010	30	15	18.89	98.14
5,229	40	20	98.42	98.12
10,100	60	30	161.33	99.40

ปริมาณปูนขาวที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมฟลูออไรด์เข้มข้น 1,010 5,229 และ 10,100 มก./ล. เท่ากับ 15 20 และ 30 ก./ล. เมื่อคิดเป็นปริมาณฟลูออไรด์ที่ถูกกำจัดต่อปูนขาว 1 กรัม จะได้ 66.07 259.09 และ 334.62 มก.ฟลูออไรด์/ก.ปูนขาวตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า สัดส่วนปริมาณฟลูออไรด์ที่ถูกกำจัดต่อปูนขาว 1 กรัม ของน้ำเสียที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์สูง สามารถกำจัดฟลูออไรด์ได้มากกว่าน้ำเสียที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์ต่ำ

ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการตกตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์ที่จับกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่เมื่อเวลาตกลงจะกวาดเอาฟลูออไรด์ไอออนลงมาด้วย (กลไกแบบ sweep flocculation (John and Jinming, 2001)) จึงทำให้น้ำเสียที่มีความเข้มข้นฟลูออไรด์สูงมีโอกาสดักจับฟลูออไรด์ได้มากกว่า จากตารางที่ 11 จะเห็นว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ฟลูออไรด์ทั้ง 3 ความเข้มข้น มีประสิทธิภาพที่สูงมาก คือ 98 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แต่ยังคงมีปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ทางกรมอุตสาหกรรมการแห่งประเทศไทยได้กำหนดไว้ คือ ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศ กรมอุตสาหกรรมการแห่งประเทศไทย, 2530) จึงควรนำน้ำในส่วนนี้ไปบำบัดต่อเพื่อให้มีปริมาณฟลูออไรด์เหลือตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

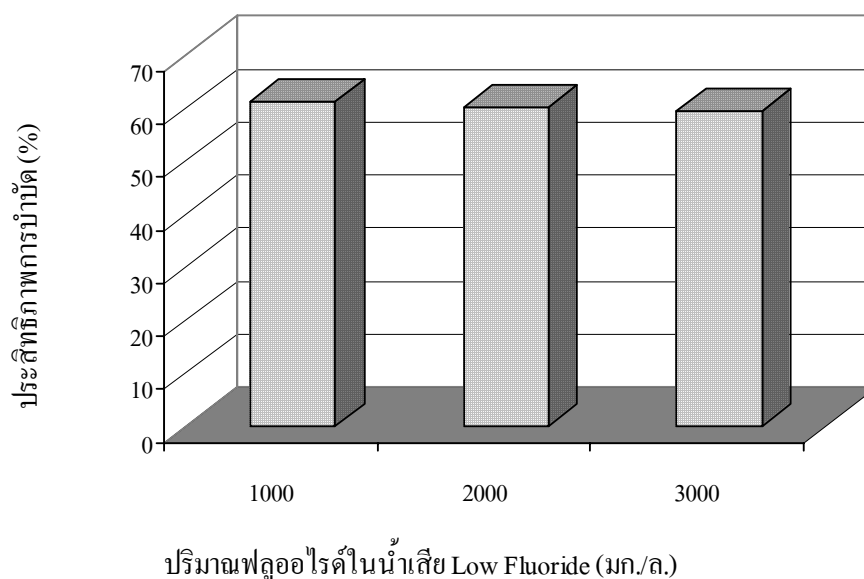
เมื่อเปรียบเทียบความต้องการปริมาณน้ำปูนขาวในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์จากตารางที่ 6 และความต้องการปริมาณน้ำปูนขาวในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมจากตารางที่ 11 การบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์จะมีความต้องการปริมาณน้ำปูนขาวน้อยกว่าน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เพราะในน้ำตัวอย่างสังเคราะห์มีฟลูออไรด์เพียงอย่างเดียว แต่ในน้ำเสียจากโรงงานยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่อาจเป็นตัวรบกวนการบำบัดฟลูออไรด์ด้วยน้ำปูนขาว

4. การหาความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเสีย Low fluoride ที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาว เพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

จากการศึกษาหาความเข้มข้นของน้ำเสีย low fluoride ที่เหมาะสม ในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาวเพื่อบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม โดยใช้ น้ำเสียที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปูนขาวปริมาตร 60 มิลลิลิตร ซึ่งมีความเข้มข้น 30×10^3 มิลลิกรัม/ลิตร ตามผลการทดลองที่ได้จากข้อ 3.2.3 จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาทิต เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ทำการศึกษาความเข้มข้นของฟลูออไรด์ในน้ำเสีย low fluoride ทั้งหมด 3 ค่า คือ 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12 และภาพที่ 19

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดลองหาความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเสีย Low fluoride ที่เหมาะสมในการนำมาเตรียมน้ำปูนขาว เพื่อใช้บำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร

ความเข้มข้นฟลูออไรด์ในน้ำเสีย Low fluoride ที่นำมาเตรียมน้ำปูนขาว (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
1,000	3910.70	61.29
2,000	4020.62	60.20
3,000	4083.44	59.58



ภาพที่ 19 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เมื่อใช้น้ำเสีย Low fluoride ซึ่งมีปริมาณฟลูออไรด์แตกต่างกันมาเตรียมน้ำปูนขาว

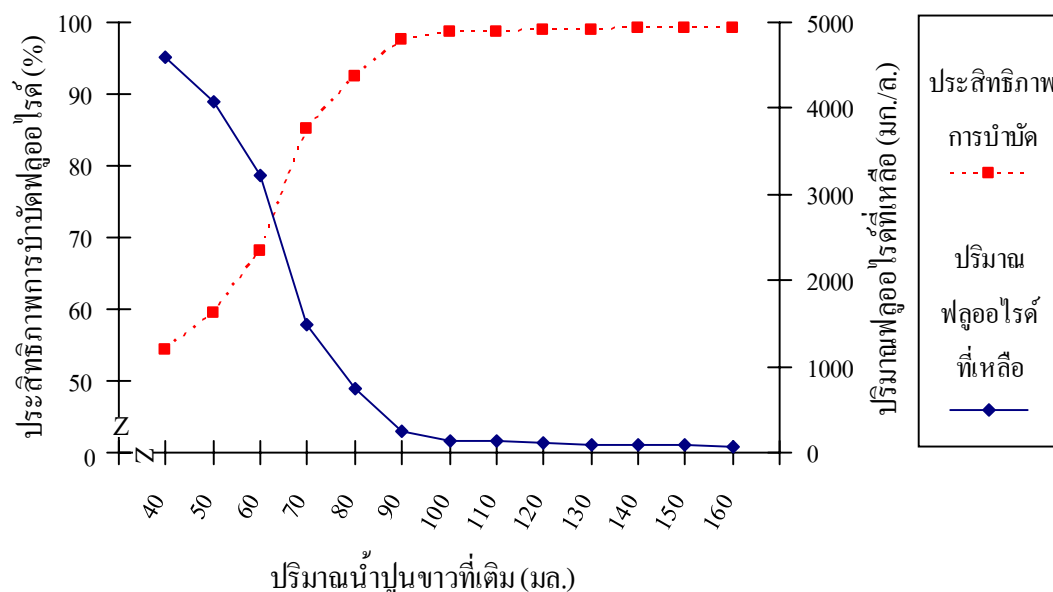
จากการทดลองจะพบว่า น้ำเสีย low fluoride ความเข้มข้น 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร มีประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริงในโรงงาน จึงพิจารณาเลือกน้ำเสีย low fluoride ที่ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปเตรียมน้ำปูนขาวมากที่สุด เพราะมีค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ใกล้เคียงกับน้ำเสีย low fluoride ของโรงงาน ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5. การหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมที่เตรียมจากน้ำเสีย Low fluoride เพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์ ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

จากการศึกษาหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เหมาะสมที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride เพื่อใช้บำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม ใช้ น้ำเสีย low fluoride ที่ 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในการเตรียมเตรียมน้ำปูนขาวตามผลการทดลองในข้อ 4 โดยใช้ น้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำปูนขาวในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 13 และภาพที่ 20

ตารางที่ 13 แสดงผลการทดลองหาปริมาณน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย Low fluoride ที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

ปริมาณน้ำปูนขาว ที่เติม (มก.)	ความเข้มข้นของ ปูนขาว $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
40	20	4,601.65	54.45
50	25	4,083.44	59.58
60	30	3,224.98	68.07
70	35	1,492.92	85.22
80	40	754.29	92.53
90	45	239.25	97.63
100	50	138.30	98.63
110	55	125.73	98.76
120	60	113.18	98.88
130	65	100.51	99.00
140	70	92.82	99.08
150	75	83.73	99.17
160	80	72.40	99.28



ภาพที่ 20 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม เมื่อใช้น้ำเสีย Low fluoride เตรียมน้ำปูนขาว

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาว ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มสูงขึ้น โดยจะเห็นได้จากการบำบัดในช่วงแรก ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับฟลูออไรด์ไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นมานี้ มาจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวไปเรื่อยๆ จะเห็นว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเนื่องจากฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำมีความเข้มข้นน้อยลง ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำปูนขาวเกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์เกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ (Pathasarathy, 1986) แต่อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถลดปริมาณฟลูออไรด์ให้มีค่าต่ำกว่าค่าคงที่การละลาย (K_{sp}) ของแคลเซียมฟลูออไรด์ (แสดงดังสมการที่ 19) และอีกเหตุผลหนึ่งคือ การใช้น้ำปูนขาวในปริมาณมากๆ จะไปเพิ่มความแรงของไอออน (ionic strength) ของสารละลายทำให้ตะกอนแคลเซียมฟลูออไรด์มีการละลายออกมาได้มากขึ้น (กิตติพร, 2537) นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณน้ำปูนขาวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ไอออนที่เหลืออยู่ลดลงจากเดิมเล็กน้อย ทั้งนี้จะเกิดจากปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปจะไปเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ ทำให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นจึงเกิดการเจือจางฟลูออไรด์จึงทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของฟลูออไรด์ที่ลดลงได้น้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมด้วยน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำประปา

จะสังเกตได้ว่า เมื่อเติมน้ำปูนขาว ที่ปริมาณน้ำปูนขาว 40-100 มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพบำบัดแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเติมน้ำปูนขาวปริมาณตั้งแต่ 100 มิลลิลิตร เป็นต้นไป ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้น จึงเลือกปริมาณน้ำปูนขาวที่ 100 มิลลิลิตร เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เพราะประหยัดสารเคมีและที่ปริมาณน้ำปูนขาวมากๆ อาจทำให้ปริมาณน้ำปูนขาวที่เติมลงไปมีผลต่อการบำบัดฟลูออไรด์ โดยจะไปเจือจางฟลูออไรด์ที่เหลือในน้ำเสียของระบบบำบัด ทำให้ตรวจวัดปริมาณฟลูออไรด์ได้ลดลง

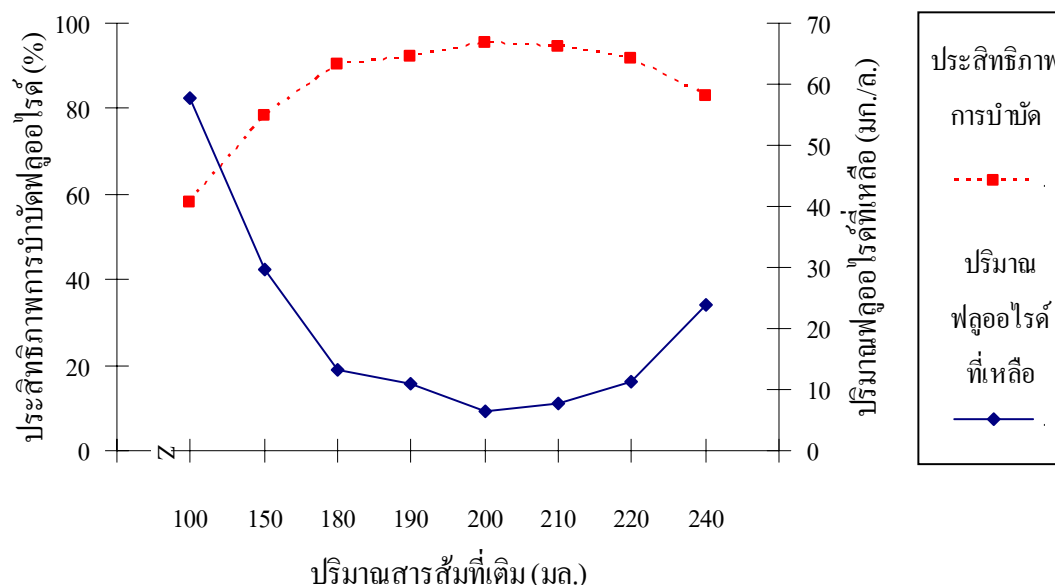
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้น้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำประปา กับน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride ในการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมที่ความเข้มข้น 10,100 มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่า มีความต้องการปริมาณน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride มากกว่าน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำประปา เนื่องจากแคลเซียมบางส่วนไปจับกับฟลูออไรด์ที่อยู่ในน้ำเสีย low fluoride ทำให้ปริมาณแคลเซียมในน้ำปูนขาวลดลง และเมื่อนำน้ำปูนขาวนี้ไปใช้บำบัดน้ำเสียจึงทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำปูนขาวเพิ่มมากขึ้น

6. การหาปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมหลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว

จากการศึกษาหาปริมาณของสารส้มที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานหลังจากการผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยปูนขาวแล้ว โดยนำน้ำเสียโรงงานหลังจากผ่านการบำบัดด้วยน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride ซึ่งมีฟลูออไรด์เหลืออยู่ 138.30 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แล้วเติมสารส้มเข้มข้น 120 กรัม/ลิตร ในปริมาณต่างๆ กัน จากนั้นกวนเร็วด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที และกวนต่อด้วยการกวนช้าด้วยความเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 นาที ตามที่ได้จากผลการทดลองในข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 21

ตารางที่ 14 แสดงผลการทดลองหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม หลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว

ปริมาณสารส้ม ที่เติม (มล.)	ความเข้มข้นของ สารส้ม $\times 10^3$ (มก./ล.)	ปริมาณฟลูออไรด์ ที่เหลือ (มก./ล.)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ค่าพีเอชหลังเติม สารละลายสารส้ม
0	0	138.3	0	12.74
100	40	57.86	58.17	12.14
150	60	29.65	78.56	11.56
180	72	13.10	90.53	8.54
190	76	11.00	92.04	7.67
200	80	6.34	95.42	7.05
210	84	7.74	94.40	6.58
220	88	11.24	91.88	5.65
240	96	23.82	82.77	4.42



ภาพที่ 21 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัมด้วยสารส้ม ภายหลังจากผ่านการบำบัดด้วยปูนขาวแล้ว

น้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงานความเข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อผ่านการบำบัดด้วยน้ำปูนขาวแล้ว ยังมีปริมาณฟลูออไรด์เหลืออยู่ 138.30 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่าพีเอช 12.74 ซึ่งยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จึงนำมาบำบัดต่อด้วยการตกตะกอนด้วยสารส้ม

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของสารส้ม และเมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มขึ้นไปเรื่อยๆ แล้วจะพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดฟลูออไรด์ลดลง ทั้งนี้ เนื่องมาจากค่าพีเอชของน้ำเสียหลังจากบำบัดด้วยสารส้มมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ไอออน ซึ่งการบำบัดฟลูออไรด์ด้วยสารส้มจะเป็นกระบวนการตกตะกอนผลึกร่วม โดยจะเกิดการสร้างผลึกอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเป็นปุย เมื่อไอออนของฟลูออไรด์สัมผัสกับผลึกอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Al}(\text{OH})_3$) ก็จะเกาะตัวจับอยู่บนผลึก เมื่อเกิดขึ้นมากๆ จะได้ฟล็อกขนาดใหญ่ที่ตกตะกอนลงมา และพีเอชที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 6-7.5 จึงจะได้ผลดีที่สุดเพราะจะเป็นช่วงที่เกิดการตกตะกอนของผลึกสารส้มมากที่สุด (มันสิน, 2538) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ว่า ในช่วงแรกของการเติมสารส้มนั้น ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าต่ำ เพราะมีค่าพีเอชอยู่ในช่วงมากกว่า 9 สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ $[\text{Al}(\text{OH})]^-$ และ $[\text{Al}(\text{OH})]^{2-}$ ซึ่งเป็นประจุลบ (มันสิน, 2538)

เช่นเดียวกับฟลูออไรด์ไอออน จึงทำให้การบำบัดฟลูออไรด์ยังมีประสิทธิภาพต่ำ เมื่อปริมาณสารส้มเพิ่มมากขึ้นทำให้พีเอชของน้ำเสียมีค่าลดลงจนอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลางจะพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มส่วนใหญ่อยู่ในรูปของผลึกสารส้ม (มันลิน, 2538) จึงทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารส้มจนกระทั่งน้ำเสียมีพีเอชน้อยกว่า 4 จะพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนของสารส้มจะอยู่ในรูปของ Al^{3+} เป็นส่วนใหญ่ จึงมีผลึกสารส้มที่ฟลูออไรด์ไอออนจะเกาะตัวจับตกตะกอนลงมามีปริมาณลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสียลดลง

เมื่อพิจารณาเลือกปริมาณน้ำสารส้มที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยน้ำปูนขาวมาแล้ว ปริมาณน้ำสารส้มที่สามารถบำบัดฟลูออไรด์ไอออนให้เหลือน้อยที่สุดคือ 200 มิลลิลิตร ซึ่งสามารถลดฟลูออไรด์และค่าพีเอชลงได้ใกล้เคียงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยมากที่สุด

7. ค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

การพิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์นั้น จะพิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยน้ำปูนขาว โดยเปรียบเทียบน้ำปูนขาวที่ใช้เตรียมจากน้ำประปาและเตรียมจากน้ำเสีย low fluoride เพื่อนำมาบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงาน ซึ่งพิจารณาที่ความเข้มข้นของปูนขาวที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียฟลูออไรด์จากโรงงาน แสดงผลดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์จากน้ำเสียโรงงานสกัดแร่แทนทาลัม

ปัจจัย	น้ำปูนขาวที่เตรียมจาก	
	น้ำประปา	น้ำเสีย Low fluoride
ชนิดของน้ำเสียที่บำบัด	high fluoride	high fluoride
อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	60	60
ปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำเสีย (มก./ล.)	10,100	10,100
ความเข้มข้นของปูนขาวที่ใช้ (ก./ล.)	30	50
ปริมาณฟลูออไรด์ที่เหลือ (มก./ล.)	161.33	138.30
ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	99.40	98.63
ค่าใช้จ่าย		
- สารเคมี (บาท/ลบ.ม.)	90	150
- น้ำประปา	1.90	0
รวมค่าใช้จ่ายน้ำเสีย (บาท/ลบ.ม.)	91.90	150

หมายเหตุ แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในภาคผนวก

ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดฟลูออไรด์ออกจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดแร่
แทนทาลัม จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 ใช้น้ำประปาในการเตรียมน้ำปูนขาวเพื่อนำไปใช้บำบัดฟลูออไรด์ในน้ำเสีย
- กลุ่มที่ 2 ใช้น้ำเสีย low fluoride ในการเตรียมน้ำปูนขาวเพื่อนำไปใช้บำบัด
ฟลูออไรด์ในน้ำเสีย

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายนั้นจะเปรียบเทียบในส่วนของการบำบัดน้ำเสีย high fluoride ซึ่ง
มีฟลูออไรด์เข้มข้น 10,100 มิลลิกรัม/ลิตร พบว่า ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของกลุ่มที่ 2 ซึ่งใช้น้ำเสีย
low fluoride ในการเตรียมน้ำปูนขาว มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีสูงกว่ากลุ่มที่ 1 เพราะปริมาณสารเคมีมี
การใช้เพิ่มมากขึ้น เพราะสารเคมีบางส่วนจะถูกใช้ในการบำบัดฟลูออไรด์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย low
fluoride ที่นำมาเตรียมน้ำปูนขาวในช่วงแรก แต่ใน กลุ่มที่ 2 จะไม่มีค่าใช้จ่ายด้านน้ำประปาซึ่งการ
บำบัดน้ำเสียในกลุ่มที่ 1 จะต้องเสียค่าน้ำประปา 1.90 บาท/ลบ.ม. ถึงแม้ว่าค่าใช้จ่ายน้ำประปา
ในตอนนี้จะยังไม่สูงนัก แต่ในอนาคตหากมีการเพิ่มค่าน้ำจะทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนน้ำประปาเพิ่ม
สูงขึ้น ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ที่เหลืออยู่ในน้ำเสียหลังจากผ่านการบำบัดแล้วของทั้งสองกลุ่มก็
ยังคงมีค่าสูงอยู่มาก ดังนั้น จึงควรนำไปบำบัดต่อเพื่อให้ได้ค่าฟลูออไรด์ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของ
การนิคมอุตสาหกรรม

เนื่องจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยน้ำปูนขาวที่เตรียมจากน้ำเสีย low fluoride ยังคงมีค่า
ฟลูออไรด์เกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ จึงอาจนำไปบำบัดต่อ
ด้วยการใช้น้ำสารส้มซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มในส่วนนี้ประมาณ 406.33 บาท/ลูกบาศก์เมตร