



## การกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี

### Total hardness removal of groundwater by chemical precipitation process

อมรรัตน์ วงษ์กลม\*

Amornrat Wongklom\*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34000 ประเทศไทย

Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Ubon Ratchathani, 34000 Thailand

\* Corresponding Author: [Amornrat\\_dekarnkon@hotmail.com](mailto:Amornrat_dekarnkon@hotmail.com)

Received: 12 January 2016; Revised: 10 February 2016; Accepted: 12 February 2016; Available online: 1 August 2016

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดในน้ำบาดาลที่ใช้ในระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้าน บ้านเอือดใหญ่ ตำบลเอือดใหญ่ อำเภอสรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี ใช้สารสร้างตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ โซดาแอช โซเดียมอลูมิเนท สารส้ม และปูนขาว ทดลองโดยใช้เครื่องจาร์เทส ด้วยการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที และตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที พบว่า การใช้โซเดียมอลูมิเนทร่วมกับโซดาแอชชนิดละ  $600 \text{ mg L}^{-1}$  จะสามารถกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำได้สูงสุด โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดที่สูงที่สุด 87.67% ซึ่งค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอลูมิเนทและโซดาแอชอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสม

**คำสำคัญ:** น้ำบาดาล; ค่าความกระด้างทั้งหมด; กระบวนการตกตะกอนทางเคมี

#### Abstract

The objective of this research was to study the effects of coagulants type and concentration to total hardness removal in groundwater from the tap water supply system in Ban Aeodyai, Tambol Aeodyai, Amphur Srimuangmai, Ubon Ratchathani by chemical precipitation process. The coagulants used in this experiment were soda ash, sodium aluminate, alum and lime. The jar test was used with 100 rpm rapid mixing for 10 minutes, then slower to 30 rpm slow mixing for 20 minutes and settle for 60 minutes. It was found that the maximum total hardness removal efficiency was 87.67% by mixing sodium aluminate  $600 \text{ mg L}^{-1}$  and sodium carbonate  $600 \text{ mg L}^{-1}$ . As a result it can conclude that total hardness decrease with increasing sodium aluminate and sodium carbonate concentration for the suitable range.

**Keywords:** Groundwater; Total Hardness; Chemical Precipitation Process

## 1. บทนำ

กระบวนการผลิตน้ำประปาหมู่บ้านมีความจำเป็นสำหรับชุมชนเนื่องจากการเป็นกรนำน้ำที่ยังไม่ผ่านกระบวนการบำบัดมาผ่านระบบบำบัดน้ำที่สามารถผลิตเป็นน้ำประปาที่สะอาดได้ กระบวนการผลิตน้ำประปาขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของแหล่งน้ำเป็นสำคัญ แหล่งน้ำผิวดินส่วนใหญ่ใช้เป็นแหล่งน้ำเพื่อผลิตน้ำประปา ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยของแหล่งน้ำผิวดิน ได้แก่ การปนเปื้อนของสารอินทรีย์ และความขุ่นในน้ำอาจมาจากสภาพพื้นที่หรือสภาพของฤดูกาลที่ส่งผลทำให้ดัชนีคุณภาพของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ความขุ่นของน้ำหรือการเจือจางขององค์ประกอบของสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนสภาพขององค์ประกอบของน้ำอาจส่งผลต่อปริมาณการใช้สารเคมีสำหรับผลิตน้ำประปา เช่น การเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการสร้างและการรวมตะกอน การใช้สารที่เป็นกรดและเบสสำหรับปรับสภาพของน้ำ การใช้สารคลอรีนเพื่อใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อ นอกจากนี้การเติมปริมาณสารเคมีมากเกินไปหรือน้อยไปอาจส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพื่อผลิตน้ำประปา และประสิทธิภาพการผลิตน้ำประปา นอกจากนี้การใช้สารเคมีบางชนิดอาจทำให้มีปริมาณของตะกอนมากขึ้นและยากต่อการกำจัดตะกอนหรืออาจใช้พื้นที่ในการบำบัดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใช้น้ำดิบที่มาจากน้ำบาดาลจะสามารถลดปัญหาเรื่องความขุ่น และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ ดังนั้นในหลายชุมชนจึงมักใช้น้ำบาดาลเพื่อนำเข้าสู่ระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้าน เพื่อลดขั้นตอนในการกำจัดความขุ่นและสารอินทรีย์แขวนลอยในน้ำและประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตน้ำประปาหมู่บ้าน แต่การใช้น้ำดิบจากน้ำบาดาล มักเกิดปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนัก ปริมาณคลอไรด์ และค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

การตกตะกอนทางเคมีเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่นิยมใช้กำจัดไอออนของโลหะ ไอออนลบ ไอออนบวกและสีในน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้คุณภาพน้ำไม่เป็นไปตามมาตรฐานฯ โดยเข้าร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง สารที่นิยมใช้เป็นสารเคมีสร้างตะกอนคือ สารส้ม ปูนขาว เหล็กในรูปเฟอร์รัสซัลเฟต หรือ เฟอร์รัสคลอไรด์ [1, 2] นอกจากนี้ยังนิยมใช้การตกตะกอนทางเคมีด้วยสารสร้างตะกอนชนิดอื่น ๆ เช่น การใช้โซเดียมอลูมิเนตในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำสังเคราะห์ [2] การใช้เกลือแมกนีเซียมเพื่อกำจัดแอมโมเนีย ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียฟาร์มสุกร [3] การใช้สารส้มร่วมกับโคพอลิเมอร์อะคลิลาไมด์อะคลิลิกแอซิดในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมถลุงเหล็ก [4] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงการนำสารสร้างตะกอนจำพวกเฟอร์รัสคลอไรด์ อะลัม โซดาแอช โซเดียมอลูมิเนต ในการกำจัดสารอินทรีย์ธรรมชาติ หรือสารอินทรีย์คาร์บอนละลายในน้ำดื่มและน้ำเสีย [5, 6] อมรรัตน์ และรมย์ธีราได้ศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีบางประการ รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักตกค้างในน้ำบาดาลที่ใช้ผลิตน้ำประปาขององค์การบริหารส่วนตำบลเอือดใหญ่ ในพื้นที่บ้านเอือดใหญ่ อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานีเพื่อประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จากการศึกษาพบว่า น้ำบาดาลที่ใช้ผลิตน้ำประปามีค่าความขุ่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและโลหะหนักมีค่าอยู่ในเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ ส่วนปริมาณคลอไรด์ ( $460 \text{ mg L}^{-1}$ ) มีปริมาณเกินเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมและค่าความกระด้างทั้งหมด ( $950 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ ) โดยค่าที่วิเคราะห์ได้มีค่าไม่เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งกำหนดให้เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมคือไม่เกินกว่า  $300 \text{ mg L}^{-1}$  และเกณฑ์อนุโลมสูงสุดคือ  $500 \text{ mg L}^{-1}$  โดยปกติในน้ำประปาจะยอมให้ความกระด้างทั้งหมดสุดท้ายอยู่ในระหว่าง  $70\text{--}120 \text{ mg L}^{-1}$  [7] เพื่อป้องกันปัญหาระบบสุขภัณฑ์ต่าง ๆ การเปิดปิดระบบวาล์วเนื่องจากผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนต ตะกรันในระบบหล่อเย็น การอุดตันในระบบท่อ และเพื่อประโยชน์ในการซักล้างช่วยไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองน้ำในการซักล้าง

วิธีการกำจัดความกระด้างสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับความกระด้างให้ตกตะกอนและการใช้หลักการแลกเปลี่ยนไอออนโดยใช้เรซิน โดยวิธีการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับความกระด้างแล้วทำให้ตกตะกอน ยังต้องใส่สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเพื่อจับตะกอนที่เกิดจากปฏิกิริยาดังกล่าวให้จมตัวเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการกำจัดความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลที่ใช้ในระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้านขององค์การบริหารส่วนตำบลเอือดใหญ่ ในพื้นที่บ้านเอือดใหญ่ อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน ได้แก่

สารส้ม ปูนขาว โซเดียมอลูมิเนท และโซดาแอช เพื่อการวางแผนการจัดการระบบการผลิตน้ำประปาหมู่บ้านให้ได้มาตรฐานและเพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำของชุมชนได้อย่างยั่งยืน

## 2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยทำการศึกษาการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมี โดยศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของโซดาแอช โซเดียมอลูมิเนท สารส้ม และ ปูนขาวที่มีต่อค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ ( $\text{mg L}^{-1} \text{CaCO}_3$ ) ในน้ำบาดาล ด้วยเครื่องจาร์เทส (Jar test) นำค่าความกระด้างทั้งหมดที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสารเคมีที่ใช้กับค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

เก็บตัวอย่างน้ำบาดาลใช้ในการผลิตน้ำประปาบ้านเอ็ดใหญ่ อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี ในเดือนมีนาคม 2557 โดยใช้ท่อสูบน้ำแรงดันสูง เก็บใส่ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร จำนวน 10 ถัง เก็บตัวอย่างให้ห่างไกลจากแสง จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปศึกษากระบวนการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำโดยอาศัยการตกตะกอนทางเคมี มีขั้นตอนดังนี้

2.1 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนชนิดเดียวต่อการกำจัด ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ โดยใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 4 ชนิด คือ สารส้ม ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ) โซเดียมอลูมิเนท ( $\text{NaAlO}_2$ ) ปูนขาว ( $\text{CaO}$ ) และโซดาแอช ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ดังนี้ ใช้น้ำบาดาลปริมาตร 1 ลิตร จำนวน 6 ปีกเกอร์ เติมสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน (สารส้ม โซเดียมอลูมิเนท ปูนขาว โซดาแอช) ให้มีความเข้มข้น 0 100 200 400 600 800 และ 1000  $\text{mg L}^{-1}$  กวนเร็วที่ความเร็วรอบ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และกวนช้าที่ความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้เครื่องจาร์เทส (ภาพที่ 1) ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที [2] จากนั้นเก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสไปทำการวิเคราะห์ค่า pH และค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ [7]

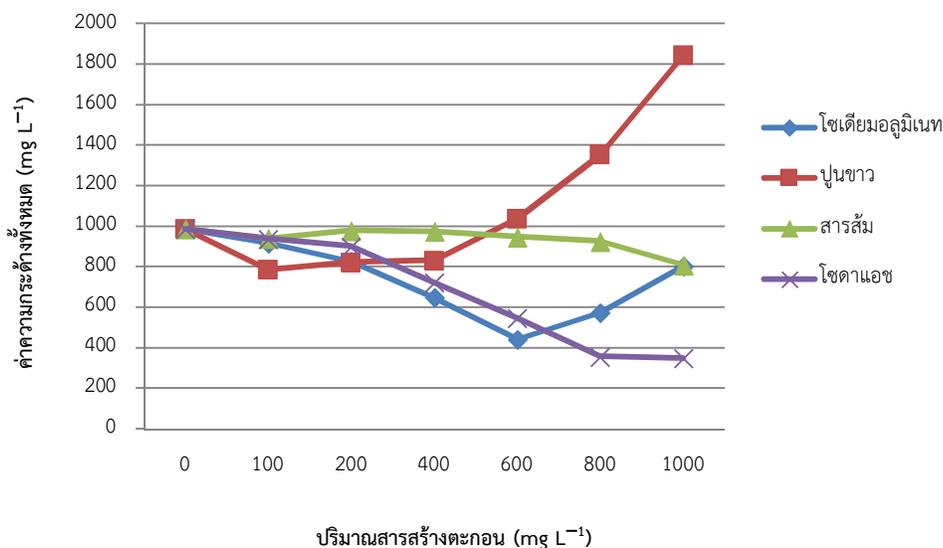
2.2 การศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด ต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ โดยใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน ชนิดละ 100-1000  $\text{mg L}^{-1}$  ในอัตราส่วน 1 : 1 ได้แก่ 1) สารส้ม และโซดาแอช 2) โซเดียมอลูมิเนทและปูนขาว 3) โซเดียมอลูมิเนทและปูนขาว 4) ปูนขาวและโซดาแอช 5) โซเดียมอลูมิเนทและโซดาแอช และ 6) โซเดียมอลูมิเนทและสารส้ม



ภาพที่ 1 การทดสอบจาร์เทสโดยเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

## 3. ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนชนิดเดียวต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ โดยใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 4 ชนิด ได้แก่ สารส้ม โซเดียมอลูมิเนท ปูนขาว โซดาแอช ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 2 และตารางที่ 1

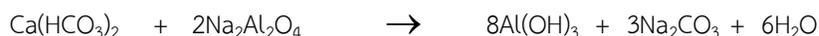


ภาพที่ 2 ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนชนิดเดียวต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิด และความเข้มข้นของสารสร้างตะกอน และสารช่วยตกตะกอนชนิดเดียว

ปริมาณที่ใช้ (mg L <sup>-1</sup> )	ประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ (% removal)			
	โซเดียมอลูมิเนท	ปูนขาว	สารส้ม	โซดาแอซ
100	7.07	20.24	4.68	4.87
200	16.25	16.70	0.67	8.72
400	34.25	15.76	1.19	26.63
600	55.10	-	3.95	44.54
800	41.74	-	6.15	63.82
1000	18.64	-	18.00	64.56

จากภาพที่ 2 และตารางที่ 1 พบว่า การเติมโซเดียมอลูมิเนทปริมาณ 100-1000 mg L<sup>-1</sup> ลงในน้ำบาดาลที่มีค่าความกระด้างทั้งหมดเริ่มต้น 986.43 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> จะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-9.75 เมื่อเติมโซเดียมอลูมิเนทเพียงชนิดเดียวที่ระดับความเข้มข้น 600 mg L<sup>-1</sup> จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำต่ำที่สุดคือ 442.94 mg L<sup>-1</sup> pH มีค่า 8.67 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดสูงที่สุด 55.10% จากการเติมสารโซเดียมอลูมิเนทจะได้ตะกอนที่มีลักษณะตะกอนสีขาววุ้นของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีน้ำหนักเบาและจมตัวได้ไม่ดี (ดั่งปฏิกิริยา) หลังจากนั้นค่าความกระด้างทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอลูมิเนท โดยที่ความเข้มข้นของอลูมิเนียมสูงๆ ทำให้ค่า pH ของน้ำสูงขึ้นเนื่องจากความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นทำให้เกิดสารประกอบอลูมิเนียมคลอไรด์ไฮดรอกไซด์ที่สามารถละลายได้มากขึ้นเมื่อค่า pH สูงขึ้น ทำให้ความเข้มข้นรวมของคลอไรด์ในสารละลายสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสามารถในการละลายน้ำของอลูมิเนียมมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น



การเติมปูนขาวจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-11.62 โดยเมื่อเติมปูนขาวปริมาณ 100 mg L<sup>-1</sup> จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 786.80 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> pH มีค่า 7.36 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมด 20.24% ที่สภาวะดังกล่าวจะได้ตะกอนสีขาวของแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (ตั้งปฏิกิริยา) และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวสูงขึ้นจะทำให้ไม่มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการเติมปูนขาวที่มากเกินไปจะทำให้แคลเซียมที่รวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH<sup>-</sup>) กลับมาอยู่ในรูปของสารละลาย (Resolubilization) ทำให้ความกระด้างทั้งหมดของน้ำเพิ่มสูงขึ้น ส่วนการกำจัดความกระด้าง (แมกเนเซียม) โดยใช้ปูนขาวจะสามารถกำจัด MgSO<sub>4</sub> และ MgCl<sub>2</sub> ได้ แต่จะสร้าง CaSO<sub>4</sub> และ CaCl<sub>2</sub> แทน (ตั้งปฏิกิริยา) ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะต้องกำจัดโดยใช้โซดาแอซ (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) จึงจะทำให้มีประสิทธิภาพการกำจัดความกระด้างของน้ำสูงขึ้น

ปฏิกิริยาการกำจัดความกระด้างคาร์บอเนตโดยใช้ปูนขาว มีดังนี้



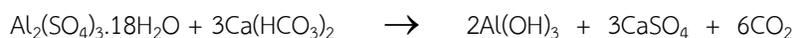
ปฏิกิริยาการกำจัดความกระด้าง (แมกเนเซียม) โดยใช้ปูนขาว มีดังนี้



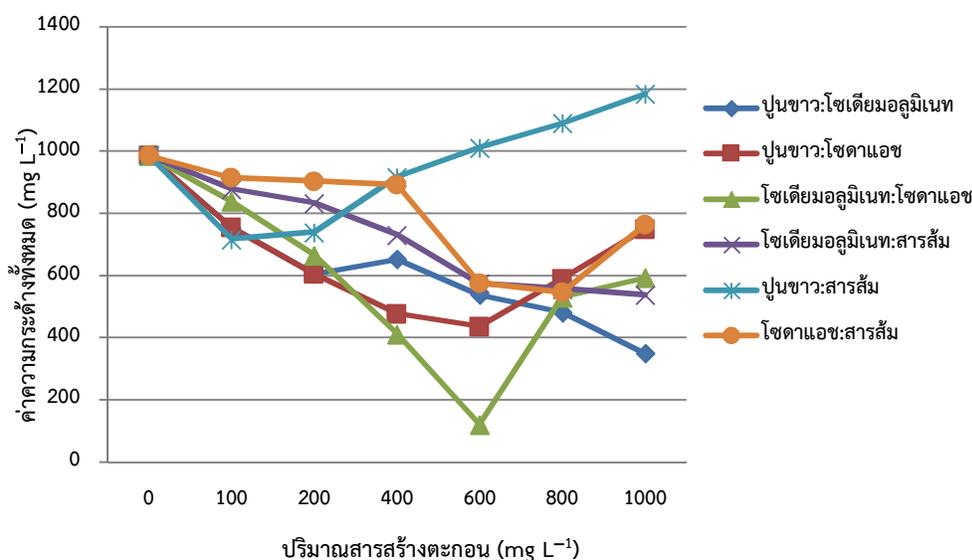
การเติมโซดาแอซจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-9.50 โดยเมื่อเติมโซดาแอซปริมาณ 800 และ 1000 mg L<sup>-1</sup> จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ 349.64 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> pH มีค่า 9.5 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดสูงสุดที่ 64.56% ทั้งนี้เนื่องจากโซดาแอซจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นไอออนที่ทำให้เกิดความกระด้างถาวรในน้ำ ทำให้เกิดเป็นตะกอนสีขาวของแคลเซียมคาร์บอเนต (ตั้งปฏิกิริยา) โซดาแอซจะทำปฏิกิริยากับความกระด้างถาวรหรือความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนตได้ตะกอนไม่ละลายน้ำ ซึ่งการใช้โซดาแอซจะสามารถลดความกระด้างของน้ำได้แต่ไม่สามารถลดสารที่ละลายอยู่ในน้ำได้ เพราะผลของปฏิกิริยาจะเกิดเกลือโซเดียมที่ละลายน้ำ ตั้งปฏิกิริยา



การเติมสารส้มจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลลดลงมีค่าระหว่าง 6.87-4.41 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำค่อนข้างคงที่ โดยที่ระดับความเข้มข้น 1000 mg L<sup>-1</sup> จะให้ค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงต่ำที่สุดคือ 808.86 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> และมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดสูงสุด คือ 18.00% จากสภาวะดังกล่าวจะได้ตะกอนสีขาวของแคลเซียมซัลเฟตและอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เพียงเล็กน้อย (ตั้งปฏิกิริยา)



3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิดต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ โดยใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิดร่วมกัน ดังนี้ 1) สารส้มและโซดาแอซ 2) โซเดียมอลูมินาตและปูนขาว 3) โซเดียมอลูมินาตและปูนขาว 4) ปูนขาวและโซดาแอซ 5) โซเดียมอลูมินาตและโซดาแอซ 6) โซเดียมอลูมินาตและสารส้ม ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 2



ภาพที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนชนิด 2 ชนิด ต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำเมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด

ปริมาณที่ใช้ (mg L <sup>-1</sup> )	ประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ (% removal)					
	ปูนขาว: โซเดียมอลูมิเนท	ปูนขาว: โซดาแอซ	โซเดียมอลูมิเนท: โซดาแอซ	โซเดียมอลูมิเนท: สารส้ม	ปูนขาว: สารส้ม	โซดาแอซ: สารส้ม
100	23.47	23.38	14.91	10.85	27.21	7.25
200	38.53	38.53	32.40	15.45	25.00	8.37
400	33.84	51.51	58.18	25.85	6.93	9.50
600	45.38	55.65	87.67	41.70	-	41.54
800	51.15	40.15	46.13	43.49	-	44.54
1,000	64.49	23.92	39.83	45.45	-	22.61

จากภาพที่ 3 และตารางที่ 2 พบว่า การเติมปูนขาวและโซเดียมอลูมิเนทชนิดละ 100-1000 mg L<sup>-1</sup> ลงในน้ำบาดาลที่มีค่าความกระด้างทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 986.43 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> จะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-11.53 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปูนขาวและโซเดียมอลูมิเนทจะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำค่อย ๆ ลดลง และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดเพิ่มขึ้น จนถึงระดับความเข้มข้น 1000 mg L<sup>-1</sup> จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงต่ำสุดที่ 350.32 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> pH มีค่า 11.5 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดสูงสุดที่ 64.49%

การเติมปูนขาวและโซดาแอซจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-11.64 โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปูนขาวและโซดาแอซจะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำลดลง จนถึงระดับความเข้มข้น 600 mg L<sup>-1</sup> จะทำให้ได้ค่าความกระด้างทั้งหมดต่ำที่สุดคือ 437.45 mg L<sup>-1</sup> pH มีค่า 11.07 และมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดสูงสุดที่ 55.65% หลังจากนั้นค่าความกระด้าง

ทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปูนขาวและโซดาแอซสูงกว่า  $600 \text{ mg L}^{-1}$  ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการเติมปูนขาวที่มากเกินไปจะทำให้แคลเซียมที่รวมตัวกับไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) กลับมาอยู่ในรูปของสารละลายทำให้ความกระด้างทั้งหมดของน้ำเพิ่มสูงขึ้น

การเติมโซเดียมอลูมิเนทและโซดาแอซจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-10.09 โดยที่ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอลูมิเนทและโซดาแอซ จนถึงระดับความเข้มข้น  $600 \text{ mg L}^{-1}$  จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดต่ำที่สุดคือ  $121.63 \text{ mg L}^{-1}$  pH มีค่า 8.8 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดที่สูงที่สุด 87.67% หลังจากนั้นค่าความกระด้างทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอลูมิเนทและโซดาแอซ

การเติมโซเดียมอลูมิเนทและสารส้มจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-8.59 โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมอลูมิเนทและสารส้มจะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดลดลง จนถึงระดับ  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่  $538.08 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$  pH มีค่า 8.59 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดที่สูงที่สุด 45.45%

การเติมปูนขาวและสารส้มจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-11.52 โดยที่เมื่อเติมปูนขาวและสารส้ม  $100 \text{ mg L}^{-1}$  จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่  $718 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$  pH มีค่า 7.48 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมด 27.21% ที่สภาวะดังกล่าวมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวและสารส้มจะทำให้ไม่มีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำ

การเติมโซดาแอซและสารส้มจะทำให้ pH ของน้ำบาดาลมีค่าระหว่าง 6.87-7.76 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซดาแอซและสารส้มจะส่งผลให้ค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำมีค่าลดลง จนถึงระดับความเข้มข้น  $800 \text{ mg L}^{-1}$  จะทำให้ค่าความกระด้างทั้งหมดมีค่าต่ำที่สุดคือ  $547.11 \text{ mg L}^{-1}$  pH มีค่า 7.71 และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดที่สูงที่สุด 44.54% ทั้งนี้เนื่องจากโซดาแอซจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมซัลเฟตและแคลเซียมคลอไรด์ (ไอออนที่ทำให้เกิดความกระด้างถาวรในน้ำ) เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นตะกอนสีขาวที่เสถียร หลังจากนั้นค่าความกระด้างทั้งหมดจะมีค่าสูงขึ้นและมีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซดาแอซและสารส้ม

#### 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงชนิดและความเข้มข้นของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนชนิดเดี่ยวและ 2 ชนิดร่วมกัน (โซดาแอซ โซเดียมอลูมิเนท สารส้มและปูนขาว) ต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลที่ใช้ในระบบการผลิตประปาหมู่บ้าน บ้านเอือดใหญ่ ตำบลเอือดใหญ่ อำเภอศรีเมืองใหม่ จังหวัดอุบลราชธานี โดยอาศัยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยการกวนเร็วที่ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กวนช้าที่ 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ตกตะกอนเป็นเวลา 60 นาที ด้วยเครื่องจาร์เทส ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดความกระด้างของน้ำที่สำคัญคือ ชนิดของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน และความเข้มข้นที่ใช้ในการกำจัดความกระด้างของน้ำ ซึ่งประสิทธิภาพของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนต่อการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาล เรียงลำดับดังนี้ โซเดียมอลูมิเนท : โซดาแอซ > โซดาแอซ > ปูนขาว : โซเดียมอลูมิเนท > ปูนขาว : โซดาแอซ > โซเดียมอลูมิเนท > โซเดียมอลูมิเนท : สารส้ม > โซดาแอซ : สารส้ม > ปูนขาว : สารส้ม > สารส้ม > ปูนขาว ซึ่งการใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเป็นโซเดียมอลูมิเนท : โซดาแอซ โซดาแอซ ปูนขาว : โซเดียมอลูมิเนท ปูนขาว : โซดาแอซ และโซเดียมอลูมิเนท จะสามารถกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำได้ โดยแสดงค่าความกระด้างทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง  $121.63 - 442.94 \text{ mg L}^{-1}$  จากค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำบาดาลเริ่มต้น  $986.43 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$  และมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดอยู่ระหว่าง 55.10 – 87.67% ซึ่งค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำที่ได้จากการทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์อนุโลมสูงสุดตามมาตรฐานคุณภาพน้ำของการประปาส่วนภูมิภาค ซึ่งกำหนดให้จะต้องมีค่าความกระด้างทั้งหมดไม่เกิน  $500 \text{ mg L}^{-1}$  นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้

สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ โซเดียมอลูมิเนทร่วมกับโซดาแอช ที่ระดับความเข้มข้น  $600 \text{ mg L}^{-1}$  จะมีประสิทธิภาพการกำจัดค่าความกระด้างทั้งหมดของน้ำได้สูงสุดคือ 87.67% ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเพียงชนิดเดียว คือ โซดาแอช (64.49%) ที่ระดับความเข้มข้น  $800 \text{ mg L}^{-1}$  และ  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  และโซเดียมอลูมิเนท (55.10 %) ที่ระดับความเข้มข้น  $600 \text{ mg L}^{-1}$

## 5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ควรนำผลของสารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนเพียงชนิดเดียวมาเป็นตัวเลือกในการกำจัดความกระด้างทั้งหมดของน้ำ แทนการใช้สารสร้างตะกอนและสารช่วยตกตะกอนสองชนิด โดยปรับเปลี่ยนอัตราส่วนที่ใช้ให้มีความแตกต่างกัน เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้สารหลายชนิด

5.2 ควรมีการศึกษาระบบการจัดส่งน้ำประปาเพิ่มเติม เพราะปัญหาความกระด้าง ความขุ่นและปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนของน้ำประปาอาจมีผลมาจากท่อส่งน้ำประปาหมู่บ้านที่ไม่ได้รับการบำรุงรักษา

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2557

## 7. References

- [1] A. Ibraheem, A. Abdel Wahab, The ultrahigh lime with aluminum process for removing chloride from recirculating cooling water, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Texas A & M University, U.S.A., 2003.
- [2] K. Kalnil, P. Weerayuttil, K. Khuanmar, Chloride removal by chemical precipitation process, The 12<sup>th</sup> Khon Kaen University Graduate Research Conference, Khon Kaen, (2011) 292-300.
- [3] P. Paosiri, W. Suebsoh, C. Songkasri, Removal ammonia nitrogen and phosphorus in swine wastewater Using precipitation with magnesium salt, JRMSU. 6(1) (2012) 129–137.
- [4] M. Berradi, Z. Chabab, H. Arroub, H. Nounah, A. El Harfi, Optimization of the coagulation/flocculation process for the treatment of industrial wastewater from the hot dip galvanizing of steel, J. Mater. Environ. Sci. 5(2) (2014) 360–365.
- [5] J.K. Edzwald, Coagulation in drinking water treatment: particles, organics and coagulants, Wat. Sci. Tech. 27(11) (1993) 21-35.
- [6] N.D. Tzoupanos, A.I. Zouboulis, Coagulation-flocculation process in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents, 6<sup>th</sup> IASME/WSEAS International Conference on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment (HTE'08), Rhodes, Greece. 20-22 August 2008, 309-317.
- [7] A. Wongklom, R. Cheuachot, Groundwater quality using for tap water supply system of Tambol Aeodyai Local Administration, Srimuangmai, Ubon Ratchathani, The 8<sup>th</sup> Ubonratchathani University Research Conference, Ubon Ratchathani University. 2014, 84-89.