

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มาตรฐานน้ำ

คุณภาพน้ำที่เหมาะสมกับการบริโภค ควรเป็นน้ำที่ปราศจากสี กลิ่น รส ความขุ่น สารพิษ เชื้อโรค และมีปริมาณเกลือแร่ที่เหมาะสม ดังนั้นการตรวจคุณภาพน้ำที่ใช้ในการบริโภค ต้องตรวจลักษณะทางกายภาพ เคมี สารพิษ และแบคทีเรีย มาตรฐาน คุณภาพน้ำเพื่อบริโภค ซึ่งกำหนดโดยหน่วยงานต่างๆ ที่มีภารกิจเกี่ยวกับน้ำเช่น เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิท (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2524) เรื่องมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, 2542) น้ำที่เหมาะสมที่จะนำมาบริโภคจะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเพื่อให้ได้น้ำที่มีคุณภาพมากที่สุด โดยจะต้องปราศจากสีและกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ไม่มีแบคทีเรียก่อโรค หรือสารเคมีต่างๆ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ การประปาส่วนภูมิภาคได้กำหนดตามมาตรฐานในส่วนของปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอช 6.5-8.5 ความขุ่น 5 NTU และคลอรีนคงเหลือ 0.2-1.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (การประปาส่วนภูมิภาค, 2559) ดังแสดงในตาราง 2.1

#### 2.2 แหล่งน้ำธรรมชาติจากน้ำใต้ดิน

น้ำธรรมชาติเกิดจาก น้ำในบรรยากาศ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ซึ่งน้ำใต้ดินในที่นี้หมายถึงน้ำบาดาล ปกติน้ำใต้ดินมีสารที่ละลายอยู่ในน้ำมากกว่าในแม่น้ำ เพราะน้ำมีโอกาสสัมผัสกับดิน หิน แร่ธาตุต่างๆ และสารอินทรีย์เป็นระยะเวลานานกว่า น้ำใต้ดินจะมีลักษณะเฉพาะบริเวณไปเพราะไม่ได้มีการผสมเข้ากันได้เหมือนกับน้ำผิวดิน คุณภาพของน้ำใต้ดินก็จะขึ้นกับชนิดดิน หิน แร่ธาตุที่สัมผัส ความพรุน (Porosity) และความซึม (Permeability) ของดินและหิน สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในชั้นหิน (ทวีศักดิ์ รัมมิ่งวงศ์และชาญ ตันตีสฤกฤติ, 2522: หน้า 127) เหล็กในแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน (น้ำบาดาล) จะอยู่ในสภาพเกลือเฟอร์รัส ( $Fe^{+2}$ ) หรือเป็นสารอินทรีย์เชิงซ้อน ที่พบในน้ำบาดาลอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต ถ้าพีเอชของน้ำบาดาลต่ำกว่า 3 (มีความเป็นกรด) เหล็กจะอยู่ในสภาพของเฟอร์ริกไอออน ( $Fe^{+3}$ ) เหล็กในน้ำบาดาลส่วนมากจะมาจากหินอัคนี หินทราย (Sandstone) หินดินดาน (Shale) ซึ่งปริมาณเฟอร์รัสไอออนในน้ำบาดาล จะถูกกำหนดด้วยการละลายของเฟอร์รัสคาร์บอเนต ถ้าพีเอชอยู่ระหว่าง 6-8 และมีไบคาร์บอเนตอยู่ด้วยจะมีเฟอร์รัสไอออน 1-10 ppm (หน่วยต่อล้าน) (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2540: หน้า 151)

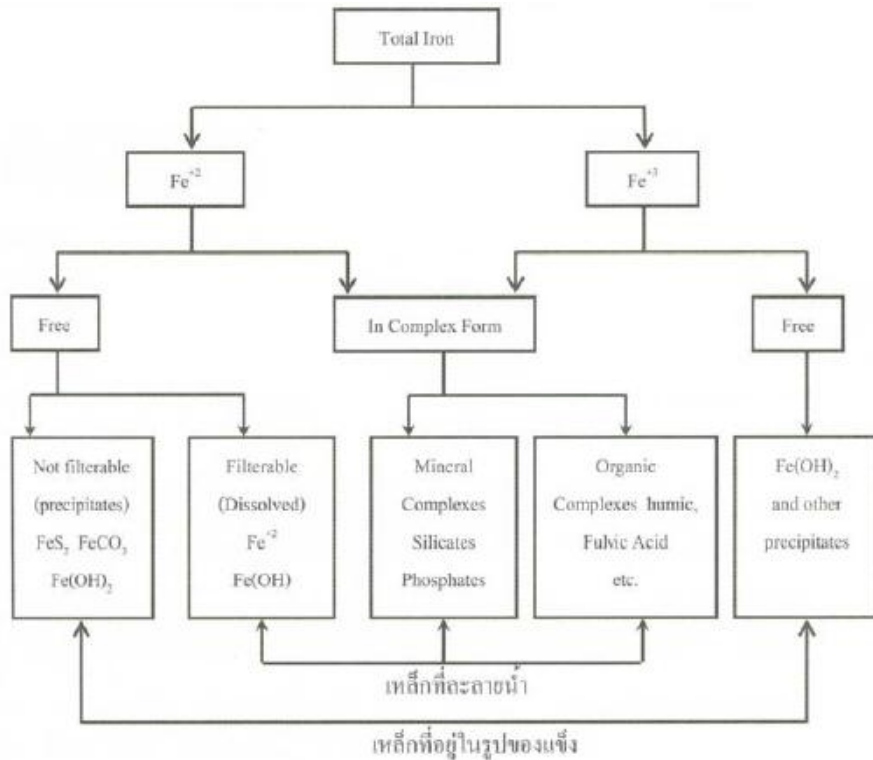


มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

รายการ	มาตรฐานน้ำประปา
<b>1.คุณลักษณะทางกายภาพ</b>	
สี (colour) , Pt-Co unit	15
รส (taste)	ไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต
กลิ่น (odour)	ไม่เป็นอันตรายถึงชีวิต
ความขุ่น (turbidity) , NTU	5
ความเป็นกรด-ด่าง (pH range)	6.5-8.5
<b>2.คุณลักษณะทางเคมี (mg/l)</b>	
ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด (total dissolved solids)	600
เหล็ก ( Fe )	0.3
แมงกานีส ( Mn )	0.4
ทองแดง ( Cu )	2.0
สังกะสี ( Zn )	3.0
ความกระด้างทั้งหมด (total hardness) as CaCO <sub>3</sub>	300
ซัลเฟต ( SO <sub>4</sub> )	250
คลอไรด์ ( Cl )	250
ฟลูออไรด์ ( F )	1.0
ไนเตรต ( NO <sub>3</sub> ) as NO <sub>3</sub>	50
<b>3. คุณลักษณะทางสารพิษ : โดสมัท ( mg/l )</b>	
ปรอท ( Hg )	0.001
ตะกั่ว ( Pb )	0.01
สารหนู ( As )	0.01
ซีลีเนียม ( Se )	0.01
โครเมียม ( Cr )	0.05
ไซยาไนด์ ( CN )	0.07
แคดเมียม ( Cd )	0.003
แบเรียม ( Ba )	0.7
<b>4. คุณลักษณะทางจุลชีววิทยา (ต่อ 100 ml.)</b>	
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total Coliform Bacteria )	ไม่พบ
อี โคไล ( E. coli )	ไม่พบ
สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus)	ไม่พบ
แซลโมเนลลา (Salmonella)	ไม่พบ
คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ ( Clostridium perfringens )	ไม่พบ

หมายเหตุ ผวก. ให้ความเข้มข้นของ เมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2550 ต่อท้ายบันทึกข้อความของ กคณ. ที่ มท 55702-2/258 ลงวันที่ 11 กรกฎาคม 2550

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา



ภาพที่ 2.1 รูปแบบของเหล็กในสถานะต่างๆ (ณรงค์ วุทธเสถียร, 2540: หน้า 154)

ในน้ำบาดาล น้ำนั้นจะไม่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศ เมื่อดูดขึ้นมาใช้ เหล็กจะอยู่ในสภาพเป็นตะกอนคอลลอยด์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความขุ่น

## 2.3 วิธีการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล

### 2.3.1 การตกตะกอนและการกรอง (Precipitation and Filtration)

- เติมอากาศ (Aeration) ที่ให้ตกตะกอนและกรอง
- ออกซิไดซ์ด้วยคลอรีน หรือด่างทับทิม ( $\text{KMnO}_4$ ) แล้วตกตะกอนและกรอง
- การจับตัว (Coagulation) โดยสารส้ม เพอร์ริกซัลเฟต และด้วยกระบวนการปูน-โซดา (Lime-Soda Softening) แล้วตกตะกอนและกรอง

### 2.3.2 การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

- Ion Exchange Resin
- Manganese-Zeolite or Manganese-Greensand

### 2.3.3 การใช้สารคีเลต (Chelating Agent) จับเหล็กและแมงกานีสให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อน

เหล็กที่อยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปแบบใดขึ้นอยู่กับค่าพีเอชและOxidation-reduction Potential (มันสิน ตันจุลเวศม์, 2527: บทที่ 17)

ในการวิจัยเลือกใช้การออกซิไดซ์ด้วยการเติมสารเพื่อให้ได้แตกตัวในน้ำได้ไฮโปคลอไรต์ ซึ่งอยู่ในรูปของโซเดียมไฮโปคลอไรต์หรือที่เรียกว่า คลอรีนน้ำ หรือคลอรีนเม็ด ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้

สนใจที่จะใช้ ใช้คลอรีน 90% - Trichloroisocyanuric Acid เป็นคลอรีนที่มีความเข้มข้นสูงถึง 90% สามารถละลายน้ำได้หมด ไม่มีตะกอนหลงเหลือ ใช้เวลาในการละลายนานาน พอเมื่อละลายน้ำแล้วจะแตกตัวให้ HOCl และ Cyanuric Acid สามารถออกฤทธิ์ได้ดีกว่า คลอรีนชนิด Hypochlorite 8-10 เท่า ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

## 2.4 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโปคลอไรต์

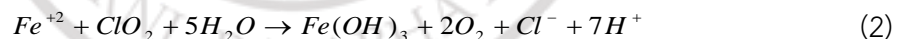
ไฮโปคลอไรต์จะใช้ในรูปของ แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ก็ได้ ก๊าซคลอรีน และคลอรีนไดออกไซด์ สารเคมีทั้งสี่นี้เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่าออกซิเจนมาก เพราะฉะนั้นปฏิกิริยาการออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ แต่ก็ไม่สามารถจะออกซิไดซ์เหล็กและแมงกานีสในรูปสารอินทรีย์ได้ นอกจากนี้ในการใช้งานจริงถ้าเติมมากเกินไป จะมีคลอรีนหลงเหลือไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์บางชนิดในน้ำ ซึ่งทำให้มีกลิ่นและรสชาติที่ผิดแปลกไป วิธีนี้ใช้น้ำที่มีปริมาณเหล็กไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีมลทินอื่นๆ เช่น สี ความขุ่น กรดฮิวมิก ก๊าซแอมโมเนีย ในปริมาณน้อย มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บ้าง ในบางครั้งใช้น้ำที่มีเหล็กไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรได้

ถ้าให้ก๊าซออกซิเจนออกซิไดซ์แมงกานีส จะต้องปรับพีเอชของน้ำให้เป็นด่างราว 9-9.5 ถ้าใช้คลอรีนก็ต้องใช้คลอรีนในปริมาณมากเกินไป ซึ่งจะต้องหาทางขจัดคลอรีนที่หลงเหลืออยู่ ถ้าใช้คลอรีนไดออกไซด์ ก็จะออกซิไดซ์  $Mn^{+2}$  เป็น  $Mn^{+3}$  และตกตะกอนในรูปแมงกานีสไดออกไซด์



ตามสมการในการออกซิไดซ์  $Mn^{+2}$  1 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องการสารเคมี  $ClO_2$  ตามทฤษฎีคือ 2.5 มิลลิกรัม/ลิตร

ในส่วนการออกซิไดซ์เหล็กด้วยคลอรีนไดออกไซด์เป็นดังสมการ



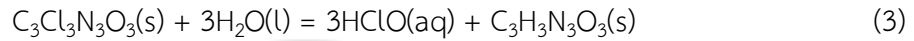
ซึ่งการออกซิไดซ์  $Fe^{+2}$  1 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องการสารเคมี  $ClO_2$  1.21 มิลลิกรัม/ลิตร

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติปริมาณคลอรีนมักสูงกว่าตัวเลขดังสมการขึ้นกับค่า pH ระยะเวลาทำปฏิกิริยา สารอินทรีย์ในน้ำ เนื่องจากมีปฏิกิริยาข้างเคียงอื่นๆ ที่ต้องการคลอรีน (ณรงค์ วุฑฒเสถียร, 2540: หน้า 156)

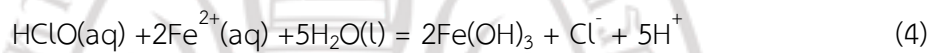
ตัวอย่างคลอรีนที่ใช้กันแพร่หลายเพื่อการฆ่าเชื้อหรือออกซิไดซ์สารปนเปื้อนอื่นทั่วไปจะได้แก่ ก๊าซคลอรีน (Chlorine Gas) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium Hypochlorite) น้ำยาฟอกขาว แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (Calcium Hypochlorite) ทั้งชนิดเกล็ดหรือเม็ด ลิเทียมไฮโปคลอไรต์ (Lithium Hypochlorite) คลอรีเนทเทอไอโซไซยานูเรท (Chlorinated Isocyanurates)

หลักการคือ เมื่อสารประกอบคลอรีนที่ใช้คือ ไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิด 90% (90%-Trichloroisocyanuric acid) สัมผัสกับน้ำ ก็จะปล่อยกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ออกมาเป็นสารที่ฆ่า

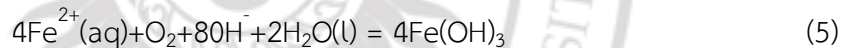
เชื้อโรคและออกซิไดซ์สารเจือปนในน้ำ และได้กรดไซยานูริก (Cyanuric Acid) เป็นตัวปรับสภาพน้ำ (Stabilizer) สารปรับสภาพน้ำสามารถแยกเติม ในสระว่ายน้ำ เพื่อลดการสูญเสียคลอรีน อันเนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์



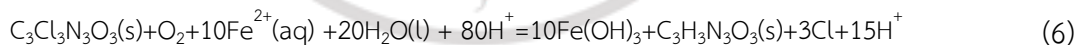
แต่เนื่องจากเป็นสารประกอบคลอรีน ที่มีฤทธิ์เป็นกรดแก่ pH 2-3 ทำให้ค่อนข้างอันตรายในการใช้ และยังทำให้ pH ของน้ำลดลง และมีฤทธิ์กัดกร่อนสูง นิยมใช้ในน้ำกึ่ง สระว่ายน้ำ เพื่อฆ่าเชื้อโรคและยังเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่าออกซิเจนมากดังนั้นปฏิกิริยาการออกซิไดซ์เหล็กจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและสมบูรณ์ (WebQC, 2017)



เนื่องด้วยสภาพการทดลองมีผลจากออกซิเจนในอากาศที่เข้าสู่ น้ำ ในช่วงการสูบล้าง และเมื่อมีการกวน และตั้งทิ้งไว้ จะเกิดสมการที่ (4) ร่วมด้วย (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2527: หน้า 378)



เมื่อพิจารณาทั้งสามสมการ การออกซิไดซ์ด้วยสารไตรคลอโรไฮโปไซยานูริกแอซิด ซึ่งเมื่อละลายน้ำแล้ว จะทำปฏิกิริยากับเหล็กในสถานะละลายน้ำ ให้กลายเป็นเหล็กในสถานะที่ตกตะกอน และเนื่องด้วยเมื่อน้ำบาดาลสูบขึ้นมาจากใต้ดินที่มีสภาพไร้อากาศ เมื่อมาอยู่ในภาชนะแล้วจะมีผลจากออกซิเจนในอากาศช่วยออกซิไดซ์เหล็กในสถานะละลายน้ำให้กลายเป็นเหล็กที่ตกตะกอนร่วมด้วย ดังสมการ (6)



ซึ่งการออกซิไดซ์ เหล็กสถานะละลายน้ำ ( $\text{Fe}^{+2}$ ) 558.4 มิลลิกรัม ต้องการสารเคมีไตรคลอโรไฮโปไซยานูริกแอซิด ( $\text{C}_3\text{Cl}_3\text{N}_3\text{O}_3$ ) 232.4 มิลลิกรัม

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 2537 นันทิยา ใจก้าวหน้าได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำโดยใช้ปูนคลอรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ ที่เวลาและความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของคลอรีนต่อเหล็กที่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีที่สุดที่พีเอช 7 โดยที่เวลาที่ 30 และ 60 นาทีได้ผลไม่แตกต่างกัน และอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 0.67:1 (ที่ความเข้มข้นเหล็กเริ่มต้นในน้ำ 3-12 มก./ล.) และ 0.80:1 (ที่ความ



เข้มข้นเหล็กเริ่มต้นในน้ำ 20-100 มก./ล.) จากนั้น สุ่มคล กัลยาณีได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำ บาดาล โดยใช้ท่ออะคิลลิกใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.4 เซนติเมตร สูง 2 เมตร เป็นแบบจำลองในการทดลองใช้ทรายไม่คัดขนาดและถ่านเป็นตัวกรอง แบ่งเป็น 3 ชุด น้ำตัวอย่างที่ใช้เป็นน้ำบาดาลสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นเหล็ก 3 7 และ 12 มิลลิกรัม/ลิตร อัตรากรองที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้อัตรากรอง 2 อัตรากรอง คือ 1 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต และ 2 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต โดยพบว่าตัวกลางชุดที่ 2 และอัตราการกรอง 1 แกลลอน/นาที่/ตารางฟุต เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานเพราะมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กมากที่สุด และในปี 2550 ยุภาพร อำนาจ ได้ศึกษาการกำจัด เหล็ก แมงกานีส และสารอินทรีย์ธรรมชาติด้วยเยื่อกรองนาโนฟิลเตรชันโดยใช้น้ำสังเคราะห์และน้ำบาดาลด้วยระบบเยื่อกรองมาในแบบการไหลตามแนวตั้ง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กและแมงกานีสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นมีค่าเพิ่มขึ้น เยื่อกรองสามารถกำจัดเหล็ก แมงกานีส และสารอินทรีย์ธรรมชาติจากน้ำบาดาลได้ 90 87 และ 79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การอุดตันที่พบเป็นแบบการเกิดเค้กในกรณีของเหล็กและสารอินทรีย์ธรรมชาติ ต่อมา นฤมล ยืนยาวได้ ออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการพยากรณ์หาปริมาณคลอรีนที่ต้องการ ในการเตรียมตัวอย่างน้ำดิบที่มีปริมาณเหล็กและแมงกานีส นำมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับคลอรีน ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน แล้วตกตะกอนด้วยเครื่องจาร์เทสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำน้ำใสไปวิเคราะห์หาค่าเหล็กและแมงกานีส แล้วทำฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม spss เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์จากนั้นนำไปทดสอบกับแหล่งน้ำดิบสังเคราะห์เหล็กและแมงกานีส และตัวอย่างน้ำดิบธรรมชาติ ผลวิจัยพบว่าแบบจำลองปริมาณคลอรีนที่ต้องการในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ในปี 2552 ภควดี แสงจันทร์ได้ศึกษาการใช้เพอร์ริกโคแอกกูแลนซ์ซึ่งถูกผลิตขึ้นจากเหล็กธรรมชาติที่มีอยู่ในน้ำใต้ดินทำปฏิกิริยากับคลอรีนเพื่อจำกัดความขุ่นในน้ำผิวดิน โดยมีปริมาณเหล็กธรรมชาติประมาณ 21 มิลลิกรัม/ลิตรของเหล็กรวมการโคแอกกูแลนซ์ถูกทดลองด้วยเครื่องทดสอบการตกตะกอนน้ำ (จาร์เทส) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้นต่างกันในรูปแบบของคลอรีนเติมลงไปในส่วนหนึ่งของน้ำใต้ดินต่อน้ำผิวดินที่แตกต่างกันผลจากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมของคลอรีนต่อน้ำใต้ดินหนึ่งลิตรคือปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมสำหรับผลิตเพอร์ริกโคแอกกูแลนซ์ได้สูงสุด 21 มิลลิกรัมลิตร (ของเหล็กรวม) อัตราส่วนของน้ำใต้ดินต่อน้ำผิวดินที่ 35:65 ภายใต้การเติมปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น พบว่าเป็นเงื่อนไขของการโคแอกกูแลนซ์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดความขุ่นโดยสามารถลดความขุ่นในน้ำผิวดินได้ต่ำกว่า 10 NTU ยิ่งไปกว่านั้นจากการปฏิบัติการโคแอกกูแลนซ์โดยการเติมคลอรีนลงไปของผสมระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน (หรือเรียกว่าวิธีการเติมคลอรีนแบบก่อน) ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นได้ดีกว่าการเติมคลอรีนลงไปใต้น้ำใต้ดินก่อนที่จะผสมกับน้ำผิวดิน (หรือเรียกว่าวิธีการเติมคลอรีนแบบหลัง) และจากผลการทดลองพบว่าปริมาณสารไตรฮาโลมีเทนทั้งหมดที่อัตราส่วนของน้ำใต้ดินต่อน้ำผิวดินที่ 35:65 และ 50:50 ในน้ำดิบมีค่า 2.98 และ 2.67 ไมโครกรัมลิตรตามลำดับในขณะที่น้ำที่ผ่านจากกระบวนการโคแอกกูแลนซ์ที่อัตราส่วนเหล่านี้นี้มีค่าเพิ่มขึ้นถึง 51.17 และ 51.47 ไมโครกรัมลิตรตามลำดับซึ่งมีค่าสูงเกินกว่าระดับการปนเปื้อนสูงสุดของสารไตรฮาโลมีเทนในระดับที่ 2 ที่ 40 ไมโครกรัม/ลิตร แต่ยังคงมีค่าไม่สูงเกินกว่าในระดับที่ 1 ที่ 80 ไมโครกรัม/ลิตร ตามมาตรฐานน้ำดื่มที่เสนอโดยองค์การปกป้องสิ่งแวดล้อม จากนั้นธัญญา พรหมศรได้ศึกษาการกำจัดเหล็กในน้ำคอลลัมน์แก้วที่บรรจุด้วยแคลเซียม

ไฮดรอกซีอะพาไทต์ 10 กรัม โดยเตรียมสารละลายเหล็ก  $Fe^{2+}$  ให้มีความเข้มข้น 4.96 มิลลิกรัมต่อลิตรแล้วให้การไหลเป็นแบบไหลย้อนขึ้น 2 ชุดทดลอง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กเฉลี่ยได้ร้อยละ 80.22 และ 85.18 ตามลำดับ และคิดเป็นปริมาณเหล็ก  $Fe^{2+}$  ที่ถูกกำจัดต่อแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ได้เท่ากับ 21.88 mg : 1 g และ 20.28 mg : 1 g ตามลำดับ ต่อมา วรรณสา สายแก้ว ได้ศึกษาการกำจัดเหล็กทั้งหมดด้วยถังกรองที่บรรจุทรายกับเปลือกส้มโอพบว่า น้ำบาดาล และน้ำเสียสังเคราะห์ 2 ระดับความเข้มข้นของปริมาณเหล็ก ทั้งหมดที่เข้าสู่ระบบมีค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วง 5.06-6.59 5.45-6.21 และ 5.82-5.11 ตามลำดับ ค่าสีมีค่าอยู่ในช่วง 1-3 2-5 และ 35-45 หน่วย ความขุ่นมีค่าอยู่ในช่วง 1.20-2.19 2.38-4.29 และ 3.21-4.80 NTU ตามลำดับ และปริมาณเหล็กทั้งหมดมีค่าอยู่ในช่วง 1.75-2.70 4.80-6.80 และ 16.70-25.90 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนน้ำออกจากระบบพบว่า ค่าสีและค่าความขุ่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณเหล็กทั้งหมดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานฯ ประสิทธิภาพในการบำบัดพบว่าค่าสีมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 70.0-90.0 75.0-92.5 และ 87.5-97.5 ตามลำดับ ความขุ่นอยู่ในช่วงร้อยละ 24.6-37.8 42.1-57.7 และ 60.9-81.22 ตามลำดับ และเหล็กทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 7.3-18.6 15.3-26.4 และ 48.3-62.9 ตามลำดับ ในปีเดียวกัน ยุทธพร ดวงจินดา ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดเหล็กในน้ำด้วยถ่านจากเปลือกทุเรียน โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารละลายเหล็ก ได้แก่ ระยะเวลาการดูดซับเข้าสู่สมดุล ไอโซเทอมของการดูดซับและพีเอช ผลการศึกษาพบว่า การดูดซับเข้าสู่สมดุลนั้นเกิดขึ้นที่ระยะเวลา 15 นาที และที่ระยะเวลาในการดูดซับนาน 60 นาทีจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารละลายเหล็กสูงสุดเท่ากับร้อยละ 68 จากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารละลายเหล็กด้วยถ่านจากเปลือกทุเรียนนั้น เป็นไปตามไอโซเทอมของแลงเมียร์ นอกจากนี้ ยังพบว่าถ่านจากเปลือกทุเรียนสามารถกำจัดสารละลายเหล็กได้ดีขึ้น ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดและเบส

ในการศึกษาที่กล่าวมานี้ วิธีของการเติมสารเพื่อออกซิไดซ์เหล็กจากสภาพละลายน้ำเป็นเหล็กที่ตกตะกอนหรือเรียกว่าวิธีเติมสารเคมีลงในน้ำตัวอย่าง ที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือใช้สารไฮโปคลอไรท์ในรูปคลอรีนที่เป็นก๊าซ ( $Cl_2$ ) หรือ คลอรีนน้ำ ( $NaOCl$ )-โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ซึ่งการนำคลอรีนเกล็ดที่อยู่ในรูปไตรคลอโรไอโซไซยานูริกแอซิด ที่นิยมใช้ฆ่าเชื้อโรคในสระว่ายน้ำยังไม่มีการศึกษาเพื่อนำมาลดปริมาณเหล็กในน้ำบาดาล

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี