

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความสำคัญและประโยชน์ของน้ำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน อากาศร้อนทำให้รู้สึกกระหายน้ำร่างกายต้องการน้ำเข้าไปชดเชยเหงื่อที่ถูกขับออกมาเพื่อบรรเทาความร้อนในร่างกาย น้ำดื่มจึงเป็นที่นิยมมากที่สุด น้ำดื่มควรเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารเคมีที่เป็นพิษต่อร่างกาย ในอดีตคนไทยนิยมรองน้ำฝนมาดื่ม แต่ปัจจุบันสภาวะแวดล้อมโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีอุตสาหกรรมและการจราจรที่คับคั่ง ทำให้อากาศมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมี น้ำฝนจึงไม่เหมาะที่จะนำมาดื่ม หลายบ้านนิยมติดตั้งเครื่องกรองน้ำไว้ภายในบ้าน บางบ้านซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดหรือเกลลอนไว้ดื่มและบางบ้านนำน้ำประปามาต้มก่อนดื่ม (คุณิณี สุทธิปริยาศรีและคณะ. 2539) น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในร่างกายของเรา เพราะมากกว่า 70 % ในร่างกายมนุษย์คือ น้ำ และสมองของเรามีน้ำถึง 80 % เลือดมีน้ำ 90 % รวมถึงเซลล์ต่างๆ มีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 75 % ฉะนั้นน้ำจึงมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตเป็นอย่างมาก มนุษย์อาจจะอดอาหาร ได้เป็นเวลาหลายๆ วัน แต่หากอดน้ำ 4-5 วัน อาจเสียชีวิตได้เพราะน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของร่างกาย ช่วยทำให้แก่กระหาย และแก่อาการขาดน้ำได้รวดเร็ว และแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้รวดเร็ว สามารถพาสารอาหารและออกซิเจนเข้าไป และนำคาร์บอน ไดออกไซด์และของเสียต่างๆ ออกมาจากเซลล์ เพื่อนำไปทิ้งนอกร่างกายได้โดยสะดวก เป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่างๆ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญสารอาหารเพื่อสร้างเป็นพลังงาน เป็นสารหล่อลื่นข้อต่อต่าง ๆ และช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ความต้องการน้ำจะต่างกันไปตามอายุ ขนาดร่างกาย กิจกรรมที่ทำสภาพแวดล้อมและสภาวะของร่างกาย โดยเด็กต้องการน้ำมากกว่าผู้ใหญ่และสภาวะบางอย่าง ทำให้อาหารร่างกายต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเช่น มีไข้ อาเจียน บิดสภาวะบวมน้ำ ท้องเสีย มีเหงื่อออกมากกว่าปกติ เป็นต้น น้ำมีความสำคัญต่อสุขภาพ และกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการดูดซึมวิตามินและคำจัดสารอาหารพิษของตับและไต ระบบย่อยอาหาร หากร่างกายขาดน้ำไม่ว่าจะรับประทานอาหารกลุ่มไฟเบอร์เป็นจำนวนมาก เส้นใยไฟเบอร์ก็ไม่สามารถนำพาของเสียออกจากร่างกายได้ดี หากปราศจากน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ดังนั้นเพื่อให้ การดื่มน้ำได้ประโยชน์สูงสุดควรที่จะพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำที่ดื่มด้วยมากกว่ามองที่ปริมาณ น้ำสำคัญต่อชีวิตมีความสำคัญเป็นลำดับที่สองรองมาจากออกซิเจนในอากาศที่เราหายใจ คุณภาพของน้ำที่ดื่มเข้าไปในร่างกายจึงมีความสำคัญต่อชีวิต น้ำจะต้องตอบสนองความต้องการของร่างกาย ต้องคำนึงถึงความสะอาด ไม่มีสารเคมีหรือโลหะหนักเจือปน มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ มีขนาดของโครงสร้างที่เล็ก มีเกลือแร่ที่ละลายอย่างพอเพียง ความขุ่นดำและปริมาณที่ใช้ดื่มอย่างพอเพียงด้วย แร่ธาตุที่ดีต้องมีกำเนิดมาจากทะเลและมีโครงสร้างเล็ก เพราะจะทำให้ร่างกายนำไปใช้ได้ง่ายกว่าแร่ธาตุที่มาจากอาหารทั่วไป น้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ จะช่วยกำจัดความเป็นกรดและของเสียในร่างกาย ร่างกายในสภาวะสมดุลต้องการค่า พีเอช 7.4 แต่อาหารที่เรารับประทานรวมทั้งน้ำอัดลม จะมีค่าพี

เอชเป็นกรดและเครื่องดื่มประเภทโคล่ามีค่าพีเอช 2.5 ความเครียดทางร่างกายเนื่องจากทำงานใช้กำลังและอยู่ในที่ร้อนๆ รวมทั้งความเครียดทางจิตใจ ล้วนแต่สร้างความเป็นกรดในร่างกาย การสะสมของเสียที่เป็นกรดนี้ เป็นต้นเหตุของความชรา เมื่อรวมทั้งเซลล์ในร่างกายที่อยู่ในสภาพขาดน้ำเรื้อรัง ความแก่จะยิ่งมาเร็วกว่าปกติ น้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่างจะช่วยล้างพิษของความเป็นกรด และช่วยเป็นตัวกันชน (Buffer) ให้ร่างกายเพื่อสร้างความสมดุล น้ำดื่มที่ดี ย่อมช่วยให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกาย เช่น ระบบเลือดดีขึ้นเพราะเม็ดเลือดแดงไม่ขาดน้ำ น้ำมีรสดี เพราะสะอาดและมีโครงสร้างเล็ก ทำให้ต่อมรับรสรู้สึกได้ น้ำช่วยป้องกันมะเร็ง เพราะเซลล์มะเร็งไม่ชอบอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนสมบูรณ์หรือสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง น้ำทำให้ร่างกายแข็งแรงขึ้น การอ่อนเพลียบางครั้งเกิดจากการขาดน้ำเรื้อรัง (สมศักดิ์ วรคามิน. 2547)

อันตรายจากการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำดื่มบรรจุขวด

### 1. ฟลูออไรด์ (F)

“ฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ฟลูออรีน” ชื่อสามชื่อนี้มีความเกี่ยวโยงกัน “ฟลูออรีน” เป็นธาตุ มีสถานะเป็นก๊าซ ฟลูออไรด์และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ คือสารประกอบที่มีฟลูออรีนจับกับธาตุอื่น เมื่อจับกับไฮโดรเจนจะเป็นไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ซึ่งเป็นก๊าซ เมื่อละลายน้ำ ก็กลายเป็นกรด ไฮโดรฟลูออริก (สุชาติา ชินะจิตร. 2549) ฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบของ “ฟลูออรีน” มีมากเป็นอันดับที่ 17 ของโลกในจำนวนธาตุต่างๆ ที่พบบนโลก เราสามารถพบฟลูออไรด์ได้ตามธรรมชาติ เช่น ในหิน ซึ่งส่วนมาเป็นฟลูออไรด์ในรูปของแคลเซียม นอกจากนั้นแล้วในชีวิตประจำวันเราสามารถได้รับฟลูออไรด์จากน้ำดื่ม อากาศที่เราหายใจ และยังพบฟลูออไรด์ได้ในอาหาร เช่น ในอาหารทะเล โดยเฉพาะปลาที่เรากินได้ทั้งตัว ทั้งหนังและกระดูก ส่วนในพืชผักก็มีฟลูออไรด์อยู่บ้าง เช่น ในผักกูดข่าย ตังโฮ มะระ ผักบุ้ง และกะหล่ำปลี เป็นต้น และพบมากที่สุดคือ ใบชา หรือใบเมี่ยง เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วฟลูออไรด์จะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสโลหิต แล้วกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น เลือด หัวใจ ของเหลวที่บริเวณไขสันหลัง กระดูก และฟัน เป็นต้น ฟลูออไรด์สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วในทางเดินอาหารแต่ขึ้นกับความสามารถในการละลายของสารประกอบฟลูออไรด์นั้น โดยฟลูออไรด์จะถูกดูดซึมได้ช้าลงหากรับประทานพร้อมนมหรืออาหาร เมื่อฟลูออไรด์ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้ว 50 % จะถูกขับถ่ายทางไต ต่อมาเหงื่อและอุจจาระ ที่เหลือส่วนใหญ่จับกับเนื้อเยื่อที่ประกอบ ด้วยแคลเซียม ได้แก่ กระดูกและฟันในรูปของผลึก ซึ่งปัจจุบันพบว่าฟลูออไรด์เป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อการสร้างกระดูกและฟัน การศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1874 หรือ 135 ปีมาแล้วพบหลักฐานที่แสดงถึงการ ใช้ฟลูออไรด์เพื่อป้องกันโรคเกี่ยวกับฟันเป็นครั้งแรก นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ฟลูออไรด์ทางทันตกรรมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันและควบคุมโรคฟันผุ เด็กที่ได้รับฟลูออไรด์จากน้ำอย่างสม่ำเสมอในระดับที่เหมาะสมตั้งแต่เกิดมีอัตราฟันน้ำนมผุลดลงได้ถึง 50 %

แม้ฟลูออไรด์จะช่วยป้องกันฟันผุแต่การได้รับฟลูออไรด์มากเกินไปทำให้เกิดผลเสียโดยฟลูออไรด์ทำให้กระดูกผิดปกติเพราะฟลูออไรด์ไปจับที่ข้อต่อบริเวณคอ หัวเข่าเชิงกราน และหัวไหล่ ทำให้เคลื่อนไหวและเดินลำบาก ทั้งอาจเป็นรุนแรงจนเกิดภาวะกระดูกพรุน กระดูกหยุดการเจริญเติบโต กระดูกสันหลังเชื่อมติดกันทำให้พิการได้ในที่สุด นอกจากนี้หากได้รับฟลูออไรด์ในปริมาณมากเกินไปในระยะที่กำลังสร้างเนื้อฟันทำให้เกิดฟันตกกระได้ (ธนิศา โพธิ์ดี และพรสุดา หน่อไชย, 2552) ซึ่งมักจะเกิดกับฟันแท้ ทำให้ฟันมีจุดสีขาวขุ่น เหลืองน้ำตาล หรือดำ กระจายทั่วผิวฟัน และสามารถกินลึกถึงเนื้อฟัน ไม่สามารถแปร่งหรือขูดออกไปได้

## 2. คลอไรด์ (Cl)

คลอไรด์ พบอยู่ในน้ำตามธรรมชาติทั่วไป ปริมาณของคลอไรด์เป็นสัดส่วนกับปริมาณของเกลือแร่ที่เพิ่มขึ้น คลอไรด์มักจะละลายน้ำได้ดี ทำให้น้ำมีรสกร่อย (วิชาการหมอนามัย, 2552) และพบมากในน้ำดิบและน้ำประปา โดยมากจะอยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยมักจะมาจากน้ำที่ไหลผ่านชั้นดิน ซึ่งโดยปกติจะมีพวกเกลือแร่ต่างๆที่มีคลอไรด์อยู่ และน้ำทะเลที่ขึ้นลงบริเวณปากแม่น้ำทั่วไป ซึ่งน้ำทะเลจะมีคลอไรด์อยู่ประมาณ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบางครั้งจะใช้คลอไรด์เป็นตัวบ่งชี้ของการปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากห้องส้วม เนื่องจากเกลือที่อยู่ในอาหารได้ถูกบริโภคโดยคนส่วนใหญ่ แต่เป็นวิธีการตรวจสอบ การปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากห้องส้วมได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ค่าแอมโมเนียมาตรวจสอบ โดยทั่วไปคลอไรด์ที่มีปริมาณปกติจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค น้ำดื่มมาตรฐานน้ำดื่มของ องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าควรมีค่าคลอไรด์ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำ ประปา และจะยอมให้มีคลอไรด์ได้สูงสุดเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในหลายพื้นที่ของโลกได้มีคลอไรด์ในน้ำใช้มากถึง 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคเลย ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณแตกต่างกัน และโดยปกติจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อน้ำมีการละลายเกลือแร่เพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นบริเวณต้นน้ำจะมีปริมาณคลอไรด์น้อย และจะเริ่มมีมากขึ้นเมื่อน้ำไหลสู่แม่น้ำ จนในที่สุดมีปริมาณมากที่สุดที่น้ำทะเลและมหาสมุทร คลอไรด์จะเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น บริเวณปากแม่น้ำออกสู่ทะเล โดยที่น้ำเค็มซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า จะเคลื่อนตัวอยู่ใต้น้ำจืดเข้าไปในแม่น้ำได้ไกล อันเป็นสาเหตุของน้ำกร่อยและน้ำมีรสเค็ม ทำให้ไม่อาจนำมาอุปโภค บริโภคได้ ด้วยสาเหตุนี้ จึงได้มีการขุดคลองประปาในสมัยรัชกาลที่ 5 เริ่มต้นที่จังหวัดปทุมธานีเพื่อทำน้ำดิบ (น้ำจืด) จากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาทำเป็นน้ำประปาแจกจ่ายให้แก่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ทะเลอ่าวไทย ในขณะที่เดียวกัน น้ำใต้ดินในบริเวณที่อยู่ใกล้ทะเลจะมีสมดุลศักย์ของน้ำ (Hydrostatic balance) กับน้ำทะเล เช่นในจังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น ฉะนั้นถ้ามีการสูบน้ำใต้ดินมาใช้มากเกินไป สมดุลศักย์ของน้ำก็จะแตกต่างกันอันเป็นสาเหตุให้น้ำทะเลเคลื่อนตัวเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้ โดยปกติคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นน้อยไม่เป็นอันตรายต่อคน แต่ถ้า ความเข้มข้นสูงกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีรสเค็ม ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบ (เคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553) และในระบบประปา สำนักงานประปาทุกแห่งในประเทศไทยจะใช้

สารคลอรีน เพราะราคาถูก ใช้ง่าย ทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ การใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฆ่าเชื้อโรค กำจัดกลิ่น และสีในน้ำ ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนแล้วจะได้คลอไรท์ ( $\text{ClO}_2$ ) คลอเรต ( $\text{ClO}_3$ ) และ กลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) อันตรายของคลอเรตไอออนต่อสุขภาพคือ ทำให้เกิดการเจ็บช่องท้อง ท้องร่วง ระบาย กระบวนการขนส่งออกซิเจนของเม็ดเลือดแดง ซึ่งทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ และถ้าได้รับในปริมาณมาก และเป็นระยะเวลาานจะส่งผลทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการไตวายได้ (Nowack and Gunten, 1999)

### 3. โบรไมด์ ( $\text{Br}^-$ )

น้ำดื่มบรรจุขวด ส่วนใหญ่ใช้วิธีการทำความสะอาดด้วยโอโซน เพราะเป็นระบบที่มี ประสิทธิภาพช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ ลดค่า BOD และ COD เนื่องจากโอโซนมีสภาพเป็นสารออกซิไดซ์สูง และสลายตัวได้เองจึงมีความปลอดภัยในการใช้สูง แต่มีผลข้างเคียงต่อสุขภาพ คือ โบรไมด์ไอออนเมื่อ ผ่านโอโซนจะถูกออกซิไดซ์เป็นโบรเมต ไอออน หรือกรดไฮโปโบรมัส ( $\text{HOBr}$ ) ซึ่งโบรเมตไอออนเป็นสาร รอนินทรีย์ที่มีความเสถียรมากที่อุณหภูมิห้อง และไม่ระเหย โบรเมตไอออนนี้มีอันตรายต่อสุขภาพค่อนข้าง มาก เนื่องจากมีผลต่อความสามารถในการได้ยิน ทำให้กลิ่นเสีย อาเจียน เจ็บช่องท้อง ท้องร่วง ไตวาย โดย องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดมาตรฐานโบรเมตไอออนในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (Jackson, 1998) และผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม หากดื่มน้ำดื่มที่มี โบรเมตไอออนเข้มข้น 3 ไมโคร - กรัมต่อลิตร วันละ 2 ลิตร จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งได้ จากมาตรฐานน้ำดื่มของ EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดให้มี โบรเมตไอออนได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (นิตยา เกตุแก้ว, นงนุช นนทปัทมะคุณ และสินีนานู บุญช่วย, 2544)

### 4. ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ )

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ อยู่ในรูปสารอินทรีย์ ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ), ไนไตรท์ ( $\text{NO}_2^-$ ) และ แอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ ภายใต้ออกซิเจน เมื่อเวลาผ่านไป ไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อยๆ พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของ  $\text{NH}_3$  และถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{NO}_2^-$  และในที่สุดเป็น  $\text{NO}_3^-$  นอกจากนั้นสารไนเตรทยังเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้น จึงสามารถพบสารไนเตรทได้ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน น้ำที่มีไนเตรทสูง อาจทำให้มีรสขม มีผลต่อ เด็กทารก ถ้าดื่มน้ำที่มีสารประกอบที่มีไนเตรทสูงจะทำให้เกิดโรคตัวเขียว เด็กจะมีอาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจหอบถี่ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว และอาจเสียชีวิตได้ เนื่องจากมีการขัดขวางการนำออกซิเจนไปเลี้ยง ร่างกาย ในรายเด็กโคหรือผู้ใหญ่จะไม่พบกรณีนี้ องค์การอนามัยโลกกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำไม่ควร เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบเท่าไนโตรเจนหรือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบเท่าไนเตรท ซึ่งหากสารประกอบ ไนเตรทเพิ่มสูงผิดปกติ แสดงถึงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำนั้น อาจหมายถึงการปนเปื้อนจากส้วมหรือสิ่ง ปฏิกูลอื่นๆ ดังนั้น กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข จึงมีการเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำอยู่ตลอดเวลา โดย

ค่าไนเตรทเป็นค่าที่ต้องคอยเฝ้าระวัง อย่างไรก็ตาม ค่าไนเตรทในน้ำประปาพบต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เทียบทำไนโตรเจน ไม่เกินคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกหรือมาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย ปี 2543 (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. 2548)

### 5. ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ )

ซัลเฟต (Sulfate) จะพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติในรูป  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ฯลฯ ในน้ำประปาทั่วไปถ้ามีซัลเฟตปริมาณถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้ผู้ดื่มท้องเดินได้ถ้าร่างกายยังไม่เคยชินกับน้ำประปาที่มีซัลเฟตสูง ซัลเฟตยังสามารถทำให้เกิด การกัดกร่อนต่อโครงสร้างคอนกรีต หรือแม้กระทั่งท่อซีเมนต์ใยหิน โดยพบว่ามีซัลเฟต ปริมาณ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็มีผลทำให้กัดกร่อนแล้วแต่ไม่มาก และถ้ามีซัลเฟตสูงถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป จะมีผลต่อการกัดกร่อนอย่างมาก จากมาตรฐานน้ำดื่มของ EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดไว้ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรและของ องค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าควรมีค่าซัลเฟตไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำประปา และยอมให้มีซัลเฟตได้สูงสุดเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟตเป็นอนินทรีย์สารแอนไอออนทั่วไปที่อยู่ในน้ำธรรมชาติต่างๆ แต่ถ้านคนเราบริโภคน้ำที่มีซัลเฟตมากเกินไป มักจะมีผลคล้ายกับยาถ่าย ด้วยเหตุนี้เราจึงกำหนดมาตรฐานน้ำดื่มไว้ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ ซัลเฟตยังทำให้น้ำกระด้างถาวร ซึ่งจะก่อตะกอนในหม้อต้มได้อีกด้วย (เคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 2553) และถ้ามีปริมาณซัลเฟตในน้ำมาก ทำให้มีรสฝืด หรือขม ถ้าเกิดร่วมกับแมกนีเซียม ดื่มแล้วอาจทำให้ท้องร่วง (เสกสรรค์ ทรัพย์รัตน์. 2537)

### 6. ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

ฟอสเฟตในธรรมชาติ พบในรูปของหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟต เมื่อถูกกัดกร่อนโดยน้ำ การชะล้างโดยฝน และกระแสลมปะปนอยู่ในดิน จะกลายเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ และ ถูกถ่ายทอดไปในระบบนิเวศตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อพืชตายลงก็จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่เรียกลุ่ม Phosphatizing Bacteria ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ส่วนนี้นอกจากพืชนำไปใช้โดยตรงแล้ว ยังถูกกระบวนการชะล้างพัดพาลงสู่ทะเล ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดิน เพราะจะได้ฟอสเฟตจากการชะล้างเท่านั้น การเกษตรกรรมจะใช้ปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ แต่ถ้าปุ๋ยเหล่านี้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำมาก จะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ถ้ามีปริมาณฟอสเฟตมากจะส่งผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อม ทำให้วัชพืชน้ำเติบโตเร็ว และช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งหากบริโภคหรือสัมผัสน้ำที่มีสาหร่ายเหล่านี้จะมีผลเสียต่อสุขภาพ (บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2553) คือทำให้เกิดผื่นคันที่ผิวหนัง ทำให้ตาอักเสบหรือเกิดอาการท้องร่วงได้ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา. 2553)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคและมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโมลสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	ปลาตินัม-โคบอลต์ (Platinum-Cobalt)	5	15
	2.รส (Taste)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	3.กลิ่น (Odour)	-	ไม่เป็นที่รังเกียจ	ไม่เป็นที่รังเกียจ
	4.ความขุ่น (Turbidity)	ซิลิกา สเกล ยูนิต (Silica scale unit)	5	20
	5.ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5	9.2
ทางเคมี	6.ปริมาณสาร ทั้งหมด (Total Solids)	มก./ล.	500	1,500
	7.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.5	1.0
	8.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.3	0.5
	9.เหล็กและแมงกานีส (Fe & Mn)	มก./ล.	0.5	1.0
	10.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0	1.5
	11.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0	15.0
	12.แคลเซียม (Ca)	มก./ล.	75 <sup>b</sup>	200

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางเคมี	13.แมกนีเซียม (Mg)	มก./ล.	50	150
	14.ซัลเฟต ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	มก./ล.	200	250 <sup>c</sup>
	15.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	250	600
	16.ฟลูออไรด์ (F <sup>-</sup> )	มก./ล.	0.7	1.0
	17.ไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ )	มก./ล.	45	45
	18.อัลคิลเบนซิลซัลโฟเนต (Alkylbenzyl Sulfonate, ABS)	มก./ล.	0.5	1.0
	19.ฟีนอลิกซับสแตนซ์ (Phenolic substances as phenol)	มก./ล.	0.001	0.002
	สารเป็นพิษ	20.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.001
21.ตะกั่ว (Pb)		มก./ล.	0.05	-
22.อาร์เซนิก (As)		มก./ล.	0.05	-
23.ซีลีเนียม (Se)		มก./ล.	0.01	-
24.โครเมียม (Cr hexavalent)		มก./ล.	0.05	-
25.ไซยาไนด์ (CN)		มก./ล.	0.2	-
26.แคดเมียม (Cd)		มก./ล.	0.01	-
27.แบเรียม (Ba)		มก./ล.	1.0	-

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางจุด ชีววิทยา	28. แสตนคาร์ดเพลต เคานต์ (Standard Plate Count)	โคโลนีต่อลบ.ชม. (Colonies/cm <sup>3</sup> )	500	-
	29. เอ็มพีเอ็น (MPN)	โคลิฟอร์มออร์แก นิสซึม ต่อ 100 ลบ.ชม. (Coliform Organism/100 cm <sup>3</sup> )	น้อยกว่า 2.2	-
	30. อีโคไล (E.coli)	-	ไม่มี	-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550

หมายเหตุ

a เกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาลที่มีความจำเป็นต้องใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่างเกณฑ์กำหนดสูงสุดกับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดนั้น ไม่ใช่ทำให้เครื่องหมายมาตรฐานได้

b หากค่าคลอไรด์มีปริมาณสูงกว่าที่กำหนด และแมกนีเซียม มีปริมาณต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐาน ให้พิจารณาค่าคลอไรด์และแมกนีเซียม ในเทอมของความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) ถ้ารวมความกระด้างทั้งหมดเมื่อคำนวณเป็นค่าคลอไรด์คาร์บอเนต มีปริมาณต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ถือว่าน้ำนั้นเป็นไปตามมาตรฐานการแบ่งระดับความกระด้างของน้ำดังต่อไปนี้

0 ถึง 75 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำอ่อน

75 ถึง 150 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้างปานกลาง

150 ถึง 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้าง

300 มิลลิกรัมต่อลิตร เรียก น้ำกระด้างมาก



c หากซัลเฟต มีปริมาณถึง 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แมกนีเซียม ต้องมีปริมาณไม่เกิน 30 มิลลิกรัมต่อลิตร (มิลลิกรัมต่อลิตร = มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)

ตารางที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

คุณลักษณะทางกายภาพ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
	1.สี (Colour)	ฮาเซนยูนิต (Hazen)	20
	2.กลิ่น(Odour)	-	ไม่มีกลิ่น (ไม่รวมกลิ่นคลอรีน)
	3.ความขุ่น(Turbidity)	ซิลิกาสเกลยูนิต (silica scale unit)	5
	4.ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
ทางเคมี	5.ปริมาณสารทั้งหมด(Total Solids)	มก./ล.	500
	6.ความกระด้างทั้งหมด(Total Hardness) (คำนวณเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต)	มก./ล.	100
	7.สารหนู (As)	มก./ล.	0.05
	8.แบเรียม (Ba)	มก./ล.	1.0
	9.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	0.005
	10.คลอไรด์ (Cl <sup>-</sup> , คำนวณเป็นคลอรีน)	มก./ล.	250
	11.โครเมียม (Cr)	มก./ล.	0.05
	12.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	1.0
	13.เหล็ก (Fe)	มก./ล.	0.3

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางเคมี	14.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	0.05
	15.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	0.05
	16.ปรอท (Hg)	มก./ล.	0.002
	17.ไนเตรท (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N, คำนวณเป็นไนโตรเจน)	มก./ล.	4.0
	18.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	0.001
	19.ซีลีเนียม (Se)	มก./ล.	0.01
	20.เงิน (Ag)	มก./ล.	0.05
	21.ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	มก./ล.	250
	22.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0
	23.ฟลูออไรด์ (F <sup>-</sup> ) (คำนวณเป็นฟลูออรีน)	มก./ล.	1.5
	24.อลูมิเนียม	มก./ล.	0.2
	25.เอบีเอส (Alkylbenzene Sulfonate)	มก./ล.	0.2
	26.ไซยาไนด์	มก./ล.	0.1
	ทางแบคทีเรีย	27.โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.
28.อี. โคไล (E.Coli)		เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	ตรวจไม่พบ
29.จุลินทรีย์ทำให้เกิดโรค (Disease-causing bacteria)		เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	ตรวจไม่พบ

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550

## ขั้นตอนการผลิตน้ำบรรจุขวด

ผลิตภัณฑ์น้ำดื่มในท้องตลาด น้ำดื่มสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำดื่มในภาชนะที่เป็นพลาสติกใสและพลาสติกขุ่น ผู้บริโภคจะนิยมดื่มน้ำในภาชนะบรรจุที่เป็นพลาสติกใสมากกว่า เพราะมีความเชื่อมั่นต่อความสะอาดและปลอดภัย

### 1. ลักษณะที่ดีของน้ำดื่มบรรจุขวดและถัง

1.1 สภาพภายนอกและสภาพภายในของขวดและถังที่ใช้บรรจุต้องสะอาด บริเวณฝาปิดต้องไม่มีคราบปนเปื้อนฝาต้องปิดสนิทมีแผ่นพลาสติกรัดฝาอีกชั้นหนึ่ง

1.2 ลักษณะของน้ำต้องใส ไม่มีตะกอน สี กลิ่น รสที่ผิดปกติ

1.3 ฉลากต้องระบุชื่อ ตรายี่ห้อ ที่ตั้งของผู้ผลิต ปริมาตรสุทธิ เลขทะเบียน ออ. อย่างชัดเจน

### 2. ขั้นตอนแรกในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

2.1 การหาแหล่งน้ำดิบที่มีคุณสมบัติเหมาะสม และมีปริมาณเพียงพอที่ใช้ในการผลิตได้ในระยะยาว น้ำที่นำมาใช้ในการผลิตนั้นอาจได้แหล่งน้ำธรรมชาติหรือน้ำจากแหล่งผลิตอื่นที่มีราคาถูก (โรงงานบางแห่งสามารถนำน้ำประปาท้องถิ่นมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับต้นทุน และความเหมาะสมของแต่ละโรงงาน นอกจากนั้นแหล่งน้ำที่นำมาใช้ในการผลิตจะต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของ GMP ที่ได้กำหนดว่าน้ำดิบที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำดื่มนั้นจะต้องได้จากแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี ห่างจากแหล่งโสโครก สิ่งปฏิกูล และกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนของสิ่งอันตราย สำหรับน้ำที่มีอยู่ในธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน น้ำกร่อย และน้ำทะเล ซึ่งมีเพียง 2 แหล่งแรกคือน้ำผิวดิน และ น้ำใต้ดิน ที่น้ำมีความเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งน้ำดิบในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด สำหรับ 2 แหล่งที่เหลือ ได้แก่ น้ำกร่อย และน้ำทะเล นั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการปรับคุณภาพของน้ำให้ได้ตามมาตรฐานน้ำดื่มเนื่องจากมีแร่ธาตุต่างๆ ปนอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อได้แหล่งน้ำดิบที่ต้องการแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

2.2 เมื่อได้แหล่งน้ำดิบที่ต้องการแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดซึ่งโดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดจะแบ่งเป็นขั้นตอนตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กำหนดไว้คือ

ขั้นตอนการกรอง ประกอบด้วย การกรองด้วยสารที่เป็นตัวกรอง (ถังกรอง) ชนิดต่าง ๆ และหรือ ใช้การกรองโดยวิธี Reverse Osmosis (R.O)

ขั้นตอนการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบด้วย การใช้แสงอุลตราไวโอเลต (หลอด U.V.) หรือใช้ระบบโอโซน (Ozone)

### 3. ระดับการผลิตน้ำดื่ม

การผลิตน้ำดื่มสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ การผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน และ

การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั้นจะมีวิธีที่ไม่ซับซ้อนโดยมีขั้นตอนดังนี้ (พรศักดิ์ สมรไกรสรกิจ. 2551)

- 3.1 การกรองน้ำประปาหรือน้ำบาดาลด้วยเครื่องกรองทราย (Sand filter)
- 3.2 การกำจัดความกระด้างและเหล็กโดยเครื่องกรอง Base exchange unit ซึ่งบรรจุผงก

รองเรซิน

- 3.3 การกำจัดกลิ่น สี และตะกอน โดยเครื่องกรองที่มี Activated carbon
- 3.4 การกำจัดแบคทีเรียโดยเครื่องกรองที่มีซึ่งมีไส้กรองเป็น Ceramic (Ceramic filter)
- 3.5 การฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี Ultra Violet โดยการผ่านน้ำเข้าสู่ถังที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดแสง UV ตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อฆ่าเชื้อโรค เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจึงผ่านน้ำเข้าสู่เครื่องบรรจุ เพื่อบรรจุใส่ภาชนะต่อไป

#### 4. ขั้นตอนการผลิตน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม

การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน ส่วนใหญ่ใช้กับโรงงานรายใหญ่ ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

- 4.1 นำน้ำประปาหรือสูบน้ำจากบ่อบาดาล โดยบ่อบาดาลจะมีความลึกและคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งของโรงงาน แต่จะมีความลึกไม่น้อยกว่า 150 เมตร
- 4.2 นำน้ำดิบขึ้นทำ ปฏิกริยากับอากาศ เพื่อให้แร่ธาตุและสิ่งเจือปนบางชนิดตกตะกอน
- 4.3 เติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค และเร่งการตกตะกอนของแร่ธาตุ
- 4.4 สูบน้ำที่ผ่านการตกตะกอนและฆ่าเชื้อแล้ว ผ่านถังกรองทราย Sand filter กรองถ่าน Carbon และกรองความกระด้าง Softener
- 4.5 นำน้ำที่กรองแล้วเก็บเข้าถังพักน้ำ โดยเติมคลอรีนฆ่าเชื้อโรคอีกครั้ง เพื่อป้องกันเชื้อโรคที่ลอยอยู่ในบรรยากาศมาปนเปื้อน
- 4.6 นำน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วผ่านถังกรองถ่าน เพื่อกรองคลอรีน กลิ่นและสีอีกครั้ง
- 4.7 สูบน้ำผ่านเครื่อง Polisher เพื่อกรองสารแขวนลอยขนาดเล็ก
- 4.8 ส่งน้ำเข้าถัง เติมก๊าซโอโซน เพื่อฆ่าเชื้อโรคในขั้นสุดท้าย
- 4.9 บรรจุน้ำลงในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

#### เทคนิคไอออนโทกราฟี

ในอดีตที่ผ่านมาการแยกและวิเคราะห์หาปริมาณประจุลบเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและไม่น่าสนใจแต่จะเป็นเรื่องง่ายมากเมื่อใช้เทคนิคไอออนโทกราฟี (Tetsuo and Tooru. 1984) เทคนิคไอออนโทกราฟี เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณประจุลบและประจุบวก ในสารละลายได้ดี เทคนิคนี้มีความไวสูง สามารถประยุกต์ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติได้

(Shpigun, 1985) และมีการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ฟอสเฟตและซัลเฟต ในแหล่งน้ำบริเวณโรงเรียน โดยใช้เทคนิค ไอออน โครมาโทกราฟี เทียบกับวิธีการวัดการดูดกลืนแสง พบว่า เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูง ใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย (Kumar and Kenneth, 2001) เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี นับว่าเป็นกระบวนการที่มี ความเหมาะสมในการวิเคราะห์ สารอนินทรีย์ประจุลบและประจุบวกที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำ (Muhamad, Lee and Toyohide, 2007) และเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สามารถประยุกต์ใช้ความกว้างของพีคของสารละลายตัวอย่างแต่ละชนิดซึ่งเป็นลักษณะ เฉพาะของแต่ละธาตุซึ่งมีความแม่นยำสูง การใช้ไอออนโครมาโทกราฟี จะทำให้การวิเคราะห์ไอออนในน้ำมีความถูกต้องและมีความแม่นยำสูงและเป็นที่ยอมรับจากองค์กรต่างๆ (Peter, 2001) นอกจากนี้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสามารถวิเคราะห์สารอนินทรีย์ ประจุลบและประจุบวก ได้ดี แต่ปัจจุบันนี้ เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีถูกใช้สำหรับแยกสารตัวอย่างที่มีช่วงพีคกว้างมาก และสารประเภท amino acids และ carbohydrates (Haddad, 2004) และเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นวิธีที่เหมาะสมในการแยกและสามารถวิเคราะห์สาร อนินทรีย์ประจุลบ และธาตุประเภท alkaline earth metal ions, transition metal ions, และ rare earth metal ions ได้ดีเช่นกัน (Yu and Wang, 2007)

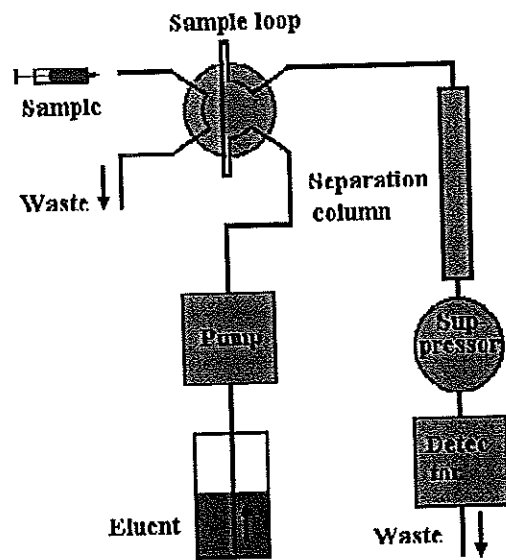
การวิเคราะห์แคทไอออน (Cation) และแอนไอออน (Anion) จะเห็นว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันนี้ การพัฒนาปรับปรุงวิธีการต่างๆ เรื่อยมา เริ่มตั้งแต่วิเคราะห์ทางเคมี (Chemical method) เช่น การชั่งน้ำหนัก วิธีการวัดปริมาตร เป็นต้น จนกระทั่งการวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือ (Instrumental method) เช่น วิธีการวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometric method) วิธีทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical method) และ การใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟี (Chromatographic method) เป็นต้น

การพัฒนาเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatograph, IC) พัฒนาโดยสมอลส์ (Small) และคณะในปี พ.ศ. 2518 มีส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายกับเครื่องมือไฮเพอร์ฟอแมนลิกวิดโครมาโทกราฟี (High performance liquid chromatograph, HPLC) แตกต่างกันในส่วนคอลัมน์ 2 ชนิด ได้แก่ คอลัมน์ที่ใช้แยกสาร (Separator column) ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange column) และซัพเพรสเซอร์คอลัมน์ (Suppressur column) คอลัมน์นี้ทำหน้าที่รับสัญญาณ (Signal) ที่เกิดจากการละลายตัวชะ (Eluent) ซึ่งเรียกว่า

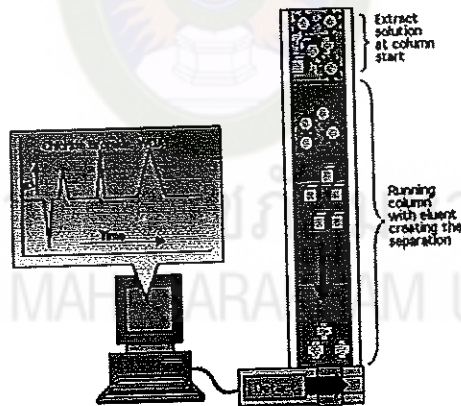
แบรคกราวน์ นอกจากนี้ยังใช้คอนดักทิวิตีเทกเตอร์ เป็นเครื่องมือวัด

ต่อมาในปี พ.ศ.2522 ฟริทซ์ (Fritz) และ เจอร์ค (Gjerde) ได้พัฒนาเครื่องมือ ไอออนโครมาโทกราฟีระบบใหม่เพื่อลดปัญหาของเครื่องมือแบบแรก ส่วนประกอบของเครื่องคล้ายแบบเดิม แต่ใช้คอลัมน์เพียงชนิดเดียว คือคอลัมน์ที่ใช้แยกสาร ดังนั้นในปัจจุบันเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี จึงสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานของเครื่องมือได้ 2 แบบ คือ แบบที่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์และแบบ ไม่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์

1. ไอออนโครมาโทกราฟีแบบมีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์ เทคนิคนี้ใช้เครื่องมือซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 2.1



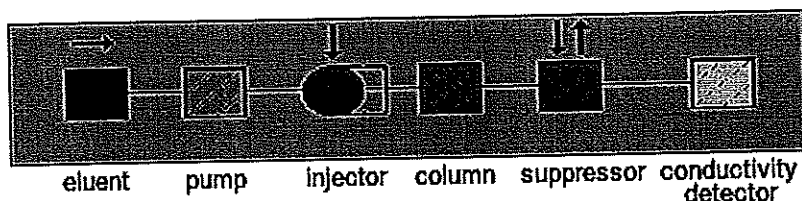
ภาพที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี  
ที่มา : Ion-chromatography. 2010



ภาพที่ 2.2 แสดงเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี  
ที่มา : Ion-chromatography. 2010

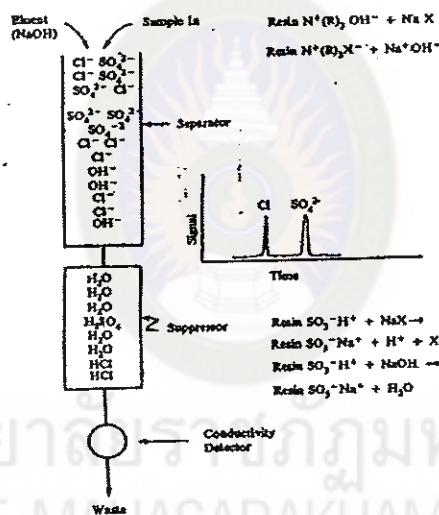
การทำงานเริ่มจากการดูดสารละลายตัวอย่างส่งผ่านท่อต่างๆเข้า Injection valve คอลัมน์และเครื่องวัด ตามลำดับอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลคงที่ เมื่อจะวิเคราะห์สารใช้ ไมโครซีริงค์ดูดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมอย่างเหมาะสมแล้ว ฉีดผ่าน Injection valve ซึ่งมี Loop ปริมาตรคงที่ สารละลายตัวอย่างจะพาสารที่วิเคราะห์ผ่านเข้าสู่คอลัมน์แยก หลังจากนั้นไอออนแต่ละชนิดจะผ่านออกจากคอลัมน์ใน

เวลาแตกต่างกันแล้วจึงผ่านเข้าสู่พีเพอร์สเซอร์คอลัมน์ซึ่งจะเปลี่ยนไอออนที่วิเคราะห์เป็นกรดแก่หรือเบสแก่ที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific conductivity) สูงขึ้นและเปลี่ยนสารละลายตัวจะเป็นน้ำ กรดอ่อนหรือเบสอ่อนที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำลง ดังนั้นสารละลายที่เข้าสู่เครื่องวัด จึงมีสภาพนำไฟฟ้าของสารตัวและสารที่วิเคราะห์แตกต่างกันมากเป็นการเพิ่มสภาพไวของระบบทำให้ค่าต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ต่ำถึงระดับนาโนกรัม



ภาพที่ 2.3 แสดงคอลัมน์แยกในระบบของเครื่องมือ ไอออนโครมาโทกราฟี

ที่มา : Ion-chromatography, 2010



ภาพที่ 2.4 แสดงการแลกเปลี่ยนไอออนแบบมีพีเพอร์สเซอร์คอลัมน์

ที่มา: อุมพร สุขม่วง. 2534

2. ไอออนโครมาโทกราฟีแบบไม่ใช้พีเพอร์สเซอร์คอลัมน์ เนื่องจากไม่มีคอลัมน์ สำหรับลดแบคกราวนด์ของสารตัววิเคราะห์ จึงต้องเลือกสารตัววิเคราะห์ที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำ ส่วนมากจะใช้กรดอินทรีย์ชนิดโรมาติก การพัฒนาเทคนิคนี้มีหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

ประการที่ 1 เลือกคอลัมน์ที่มีปริมาณหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นประจุน้ำหนักของสารที่บรรจุในคอลัมน์ต่ำ (Low-capacity)

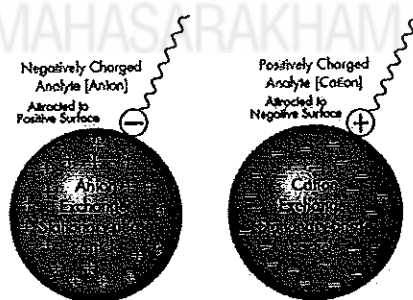
ประการที่ 2 เลือกตัวชะที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำ เตรียมให้มีความเข้มข้นต่ำระดับมิลลิโมลาร์

นอกจากนี้การพัฒนาไอออนโครมาโทกราฟีแบบไม่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์จะต้องพิจารณาถึงการเลือกสารละลายตัวชะและการเลือกคอลัมน์ที่เหมาะสมในส่วนของเครื่องมือต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำระบบท่อ (Tubing) บีบ ให้ทนต่อสารตัวชะที่เป็นบัฟเฟอร์รวมทั้งออกแบบคอนคักคิวติวิตีเทคเตอร์ให้มีความเสถียร (Stability) และมีสภาพไวสูงตลอดจน การใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการลดค่าแบคกราวด์ของสารตัวชะ (Electronic suppressor) การเพิ่มสภาพไวของการวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างสามารถทำได้โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม เช่น การเตรียมตัวอย่างให้เข้มข้นก่อนวิเคราะห์ (Pre-concentrate) เป็นต้น ไอออนโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้แยกและวิเคราะห์ไอออนหลายชนิดซึ่งผสมรวมกันอยู่ในตัวอย่างเดียวกันได้ในเวลารวดเร็ว ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การแยกและการตรวจวัดสัญญาณ

การแยกเกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการที่สารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ในคอลัมน์ได้แตกต่างกัน (Differential migration) ทำให้สารแต่ละชนิดผ่านออกจากคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกันและเวลาดังกล่าวเมื่อรายงานผลจะรายงานเป็นค่ารีเทนชันไทม์ (Retention time) ของสารนั้นส่วนกระบวนการแยกที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากความสัมพันธ์ของสารที่บรรจุในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารที่เคลื่อนที่ (Mobile phase) หรือตัวชะ คอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์ไอออนเป็นชนิดแลกเปลี่ยนไอออน คอลัมน์สารที่บรรจุในคอลัมน์เป็นสารเรซิน (Resin) หรือ ซิลิกา (Silica) ที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นประจุบวกหรือลบเพื่อทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้มีหลายชนิด เช่น

แคทไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้ ได้แก่ Sulphonic acid ( $-SO_3H^+$ ) หรือ Carboxylic acid ( $-COOH^+$ )

แอนไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้ ได้แก่ Quaternary amine [ $-N^+(CH_3)_3-OH$ ] หรือ Tertiary amine [ $-NH^+(CH_3)_2-OH$ ]



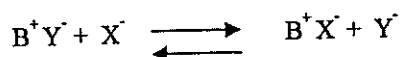
ภาพที่ 2.5 แสดงคอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์ไอออนเป็นชนิดแลกเปลี่ยนไอออน

ที่มา : Ion Exchange Chromatography. 2010



ส่วนตัวะในกรณีข้างต้นเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ของกรดอินทรีย์ น้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์พบว่าประสิทธิภาพของการแยกดังกล่าวขึ้นอยู่กับ การเลือกตัวะ สารที่บรรจุในคอลัมน์และสภาวะการวิเคราะห์ที่เหมาะสม

ในกระบวนการแยกข้างต้น การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดจากการแข่งขัน (Competible) กันระหว่างไอออนที่วิเคราะห์กับไอออนของสารตัวะ เพื่อจับกับประจุของสารที่บรรจุในคอลัมน์ ดังตัวอย่างเช่นกรณีการวิเคราะห์แอนไอออนซึ่งสามารถเขียนแสดงโดยสมการดังนี้



$$K_{xy} = \frac{[B^+ X^-][Y^-]}{[B^+ Y^-][X^-]}$$

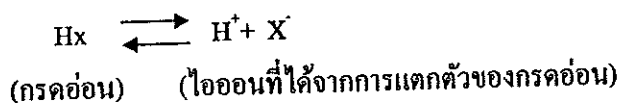
$K_{xy}$  = ค่าสมดุลคงที่ (Equilibrium constant or Selectivity coefficient)

$X^-$  = แอนไอออนที่วิเคราะห์

$Y^-$  = แอนไอออนจากตัวะ

$B^+$  = ประจุบนคอลัมน์

ค่า  $K_{xy}$  ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิดซึ่งเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติของเคมีของแอนไอออน เช่น ขนาดของไอออนที่มีน้ำล้อมรอบ (Hydrate size) ประจุบนไอออน (Charge number) และคุณสมบัติความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของไอออนนั้นๆ นอกจากนี้ถ้าสารที่วิเคราะห์เป็นกรดอ่อน การเกิดไอออนจะเกิดขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการแตกตัว (Dissociation constant,  $K_a$ ) อีกด้วย เนื่องจากสารที่จับกับคอลัมน์ต้องอยู่ในสภาพไอออนเท่านั้นดังสมการดังต่อไปนี้



$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]}$$

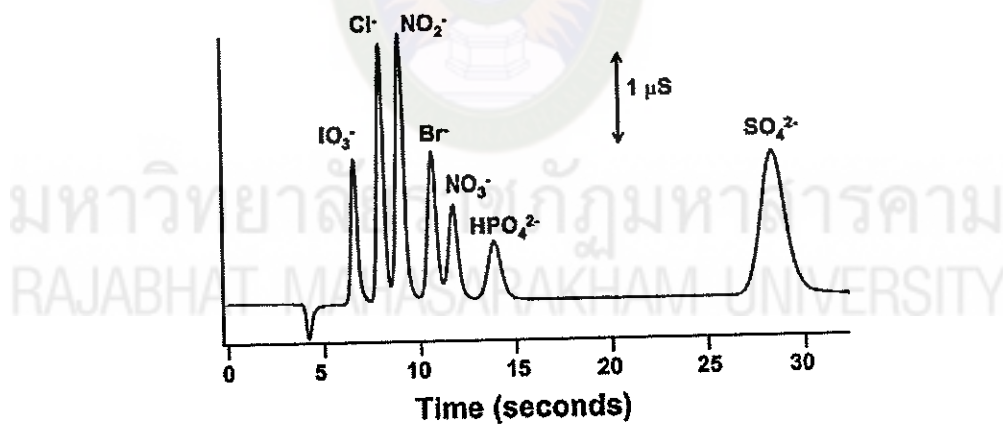
สำหรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอออนจากคอลัมน์นั้น สามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient,  $D_x$ ) ดังนี้

$$D_x = \frac{[B^+X]}{[X] + [HX]}$$

$$= K_{xy} \times \frac{[B^+Y]}{[Y]} \times \frac{1}{1 + \frac{[H^+]}{K_a}}$$

จากสมการ จะเห็นได้ว่า ค่า  $D_x$  เกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายอย่าง ในทางปฏิบัติพบว่า การปรับ pH และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายตัวจะจะมีผลต่อ การเปลี่ยนแปลงค่ารีเทนชันไทม์ของ ไอออนมาก สำหรับกรณีการวิเคราะห์แคทไอออนก็สามารถเขียนสมการอธิบายได้ในทำนองเดียวกับแอนไอออน

สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดสัญญาณและการรายงานผลนั้น ไอออนแต่ละชนิดจะผ่านเข้าสู่เครื่องวัดในเวลาที่แตกต่างกันสัญญาณที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องบันทึก (Recorder) ซึ่งจะรายงานผลเป็นความสัมพันธ์ของเวลา (นาทิจ) กับความเข้มข้นของสัญญาณเรียกว่า โครมาโทแกรม (ภาพที่ 8) ส่วนการวิเคราะห์ผลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณนั้นมีหลักการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ผลโครมาโทแกรมใน HPLC



ภาพที่ 2.6 แสดงโครมาโทแกรมการวิเคราะห์หาปริมาณแอนไอออน

ที่มา: Monica. 2010

## การประยุกต์ใช้งาน

การวิเคราะห์ไอออนโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีนั้น นับเป็นความก้าวหน้าสำหรับงานวิเคราะห์วิจัยหลายๆ ด้าน ไอออนโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์ไอออนได้หลายชนิดในขณะเดียวกัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ต่อหนึ่งตัวอย่างสั้นทำให้ประหยัดเวลาผลการวิเคราะห์ถูกต้องและเที่ยงตรงจึงนำเอาเทคนิคนี้ไปใช้ในงานวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างต่างๆ ทั้งในลักษณะที่ต้องทำเป็นประจำ จำนวนตัวอย่าง หรืองานที่ต้องสำรวจตัวอย่างเป็นช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง เช่น การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้วิเคราะห์ไอออนปริมาณต่ำมากๆ ในตัวอย่างต่างๆ เช่น น้ำดื่ม น้ำเสีย น้ำทะเล อาหาร ยาสีฟัน เครื่องดื่ม น้ำผลไม้ ดิน และน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นต้น (อุมพร สุขม่วง, 2534) เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีใช้ในการวิเคราะห์น้ำ หาปริมาณความเข้มข้นของแอนไอออน เช่น ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ไนไตรท์ และซัลเฟต และวิเคราะห์แคทไอออนได้ดี เช่น ลิเทียม โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Monica, 2010)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1. งานวิจัยภายในประเทศ

ธนาภรณ์ ณ เชียงใหม่ (2540) ได้ทำการศึกษาการหาปริมาณแอนไอออนและแคทไอออนในน้ำดื่มโดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ในการศึกษาี้ ในการศึกษาี้ ได้นำไอออนโครมาโทกราฟีสามรูปแบบมาหาปริมาณไอออนในน้ำดื่ม รูปแบบแรก คือ ไอออน-โครมาโทกราฟี ในวิธีสหพันธ์ชั้นอัตโนมัติ ที่มี 1.80 มิลลิโมลาร์โซเดียมไบคาร์บอเนตผสมกับ 1.70 มิลลิโมลาร์โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ อัตราการไหลเป็น 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้คอลัมน์ไอออนแพค เอเอส 4 เอ ขนาด 4x250 มิลลิเมตร และใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดค่าการนำไฟฟ้า รูปแบบที่สองอาศัยวิธีสหพันธ์ทางเคมีที่มี 20 มิลลิโมลาร์กรดมีเทนซัลโฟนิกเป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ที่มีอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และ 25 มิลลิโมลาร์เตตระบิวทิล-แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เป็นรีเจนเนอเรนต์ ที่มีอัตราการไหล 6.0 มิลลิโมลาร์ต่อนาที คอลัมน์ที่ใช้แยกคือ ซีเอส 12 ขนาด 4x250 มิลลิเมตร และใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดค่าการนำไฟฟ้า รูปแบบที่สามเป็นแบบที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ใหม่ภายหลังออกมาจากคอลัมน์แยกที่มี 50 มิลลิโมลาร์ สารละลายกรดออกซาลิก พีเอช 5.3 เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ มีอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และ  $4 \times 10^{-4}$  โมลาร์ 4-(2-ฟิริดิล-เอโซ)รีซอร์-ซินอล (พาร์) เป็นสารละลายโพสค์คอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที คอลัมน์ที่ใช้เป็นไอออนแพค ซีเอส 5 ขนาด 4x250 มิลลิเมตร และใช้เครื่องตรวจวัดชนิดยูวีวิสซิบิลิตีความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร สำหรับหาปริมาณของตะกั่ว (II) ทองแดง (II) แมงกานีส (II) สังกะสี (II) และนิกเกิล (II) ตามลำดับ ภายใต้สภาวะ ไอออนโครมาโทกราฟีที่เหมาะสม พบว่าช่วงความยาวเป็นเส้นตรง

ของ ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนไตรท์ โบรไมด์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซัลเฟต อยู่ระหว่าง 0.2-200, 0.2-400, 0.2-200, 0.2-100, 0.2-100 และ 0.2-100 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ตามลำดับ ซึ่ต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้เป็น 0.26, 0.17, 0.57, 0.58, 0.88, 0.75 และ 0.20 นาโนกรัม ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืนของ การวิเคราะห์อยู่ในช่วง 96.90-98.42 พบว่า ปริมาณของแอนไอออนในน้ำดื่มโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีและเทคนิคสเปกโทรแอนาลิติกัลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับหาปริมาณแอนไอออน จากตัวอย่างน้ำดื่ม จำนวน 20 ตัวอย่าง แอนไอออนที่ตรวจพบคือ ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซัลเฟต ในช่วง ปริมาณความเข้มข้น 0.79-1.31, 0.78-173.38, 0.10-19.88, 0.12-5.79 และ 0.19-64.71 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร สำหรับแคทไอออนที่วิเคราะห์ พบแมกนีเซียม แคลเซียม สตรอนเซียม ตะกั่ว (II) แมงกานีส (II) สังกะสี (II) และนิกเกิล (II) ในช่วงปริมาณความเข้มข้น 0.02-15.42, 0.10-58.64, 0.17-0.21, 0.03-0.05, 0.02-0.198, 0.006-0.029 และ 0.008-0.034 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ตามลำดับ

พีรดา ภักดีพิน และคณะ (2541) ได้ศึกษาการหาปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทะเลด้วยเทคนิค ไอออนโครมาโทกราฟี เพราะระดับความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรท เป็นดัชนีชี้วัดระดับคุณภาพของน้ำ ในรายงานนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และ ไนเตรท โดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผ่านการแยกด้วยคอลัมน์ IonPac AS 15 อัตราการไหลเท่ากับ 0.25 มิลลิเมตรต่อนาที ตรวจวัดค่าการดูด กลืนแสงที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร ซึ่งสามารถตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทได้ในระดับไมโครกรัมต่อลิตร และพิกแสดงค่ารีเทนชันไทม์น้อยกว่า 10 นาที ใช้สารละลายเฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 50.0 มิลลิโมลาร์ และใช้สารตัวอย่างปริมาตร 25 ไมโครลิตร ค่าความถูกต้องในช่วงความเข้มข้น 0.03 ถึง 4.00 มิลลิกรัมต่อลิตรอยู่ในช่วง 82- 100 % ความสัมพันธ์เชิงเส้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) สูงกว่า 0.999 ซึ่ต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection , LOD) ไนไตรท์และไนเตรท มีค่าเท่ากับ 20.0 และ 30.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

สุมารัตน์ ทัศนาศรีชา, ชูติมา ศรีวิบูลย์ และวัชร ชาติกิตติคุณวงศ์ (2545) ได้ศึกษาการใช้วิธี ไอออนโครมาโทกราฟีแยกโลหะหนักในรูปของสารเชิงซ้อนกับ EDTA ชนิดไอออนลบ ได้แก่  $PbY^{2-}$ ,  $CdY^{2-}$ ,  $MnY^{2-}$ ,  $NiY^{2-}$ ,  $CoY^{2-}$ ,  $ZnY^{2-}$  และ  $CuY^{2-}$  โดยใช้คอลัมน์ชนิดที่แลกเปลี่ยนแอนไอออน การแยกเหมาะสมกับคอลัมน์ Dionex IonPac AS 12A โดยใช้  $Na_2CO_3$  ผสมกับ  $NaHCO_3$  เป็นตัวชะและตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีระบบของการขับเคลื่อนตามปกติเงื่อนไขนี้ใช้แยกแอนไอออนอนินทรีย์ จึงทำให้ระบบสามารถแยกแอนไอออน อนินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อน M-EDTA ชนิดไอออนลบได้อย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาวิจัยนี้ได้นำเสนอการแยกแบบระบบการชะแบบเกรเดียนท์พบว่าค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection , LOD) ของไอออนโลหะหนักแต่ละชนิด สำหรับปริมาณของตัวอย่างที่ฉีด (injection volume) ขนาด 25, 50, 100 และ 200 ไมโครลิตร มีค่าต่ำกว่า 0.6, 0.5, 0.15 และ 0.09 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนแอนไอออนมีค่าต่ำกว่า 0.25, 0.15, 0.10 และ 0.05 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ความสัมพันธ์เชิงเส้นของไอออนต่างๆ ในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) สูงกว่า 0.998

กนกกาญจน์ สงวนวงศ์ (2545) ได้ศึกษาเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีที่ได้รับ การพัฒนาสำหรับกรณีวิเคราะห์แอนไอออนที่มีคลอรีนสี่ชนิด คือ คลอไรด์ คลอไรด์ คลอไรด์ และเพอร์คลอเรต ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติและน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้การชะแบบ เกรเดียนต์และแบบไอโซเกรดิก ระบบเกรเดียนต์ประกอบด้วยคอลัมน์ ไอออนแพก เอเอส 4 เอ-เอสซี และเครื่องตรวจวัดสภาพการนำไฟฟ้า ที่มีสถานะเกรเดียนต์จากสารละลายกรด ซิตริกเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เป็นสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ด้วยอัตรา การไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที การแยกของแอนไอออนทั้งหมดนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 18 นาทีโดยปราศจากการรบกวนของแอนไอออนสามัญ ความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์ที่อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.4-200, 0.2-100, 0.2-200 และ 0.4-200 นาโนกรัมต่อไมโครลิตรของ คลอไรด์ คลอไรด์ คลอไรด์ และเพอร์คลอเรต ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.9890, 0.9998, 0.9999 และ 0.9999 ตามลำดับ จากการใช้ปริมาตร การฉีดสารเท่ากับ 100 ไมโครลิตร พบว่าขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ของแอนไอออนเหล่านี้ คือ 0.03, 0.01, 0.02 และ 0.06 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้ใช้สารละลายของเอธิลีนไดเอมีนในการป้องกันการสลายตัวของคลอไรด์ ค่าร้อยละการกลับคืนของแอนไอออนทั้งหมดนี้อยู่ในช่วง 85.40-112.97 เปอร์เซ็นต์ ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ 1.05-5.46 เปอร์เซ็นต์

สมเกียรติ ประจักษ์ และองอาจ จุลจันทร์ (2549) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาธาตุที่มีประจุลบด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ของน้ำมันดิบจากอำเภอหนอง จังหวัด นครศรีธรรมราช เพื่อศึกษาปริมาณของคลอไรด์ ไนเตรตและซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำมันดิบโดย มีโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KHP) ที่เอส 4.2 เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ผล การวิเคราะห์พบว่าปริมาณไอออนของคลอไรด์และซัลเฟตเท่ากับ 7.148 และ 90.961 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ไม่พบไอออนของไนเตรต ผลจากการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางในการกำจัดธาตุที่มีประจุลบออกไปได้ เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ระบบท่อส่งน้ำมันดิบนั้นเกิดความเสียหาย

กัญจิรา เกตุแก้ว, ทิพาภัทร อินคองกลอย และวรรณภา สุจริตเนติการ (2551) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาโบรมेटและคลอเรตไอออนปริมาณน้อยในน้ำดื่มบรรจุขวดโดยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี จะทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อเพิ่มความเข้มข้นโบรมेटและ คลอเรตไอออน โดยการลดปริมาตรน้ำตัวอย่างลงประมาณ 5 เท่าด้วยความร้อนและกำจัด คลอไรด์ไอออน ซึ่งเป็นสารแทรกสอดที่รบกวนการวิเคราะห์ ปริมาณ โบรมेटไอออนด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ก่อนแยกวิเคราะห์ไอออนด้วยคอลัมน์ STAR-ION-A300 โดยมีสารละลายบัฟเฟอร์  $\text{NaHCO}_3$  ผสมกับ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  อัตราส่วนความเข้มข้น 2.2 : 5.0 มิลลิโมลาร์ เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที จากผลการศึกษาพบว่า กราฟมาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณ โบรมेटและคลอเรตไอออนเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.003-9.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.999 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) สำหรับโบรมेटและคลอเรตไอออนเท่ากับ 0.003 และ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตาม ลำดับ วิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงในรูปเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) และความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์การ ได้กลับคืนของโบรมेटและคลอเรต

ไอออนอยู่ในช่วง 1.28-2.52 เปอร์เซ็นต์ และ 96.6-98.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นด้วยการลดปริมาตรโดยใช้ความร้อนเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม ทำให้สามารถวิเคราะห์โบรมेटและคลอไรด์ไอออนที่มีความเข้มข้นต่ำได้ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำสูง

ปรีชา มั่นสลาย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟต์ในไวน์ ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี หลังจากออกซิไดซ์ซัลไฟต์เป็นซัลเฟตด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยปกติการตรวจวัดซัลไฟต์ในไวน์นั้น พบว่าพีคของซัลไฟต์ จะถูกรบกวนจากพีคอื่น แต่พีคของซัลเฟตนั้นไม่มี พีกรบกวน จึงได้เปลี่ยนซัลไฟต์ให้เป็นซัลเฟต โดยการออกซิไดซ์ ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสถานะที่เหมาะสม และทำการฉีดตัวอย่างเข้าระบบไอออนโครมาโทกราฟี ใช้วิธีการชะแบบเกรเดียนท์ โดยใช้คอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีระบบขับเพรสเชอร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ สามารถวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟต์ในไวน์ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย กราฟมาตรฐานของซัลไฟต์ในช่วงเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.2-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่จำกัดในการตรวจวัด (3S/N) เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

## 2. งานวิจัยในต่างประเทศ

ปีเตอร์ (Peter. 2001) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาสถานะที่เหมาะสมในการแยกชนิดของไอออนด้วยวิธี ไอออนโครมาโทกราฟี โดยการประยุกต์ใช้ความกว้างของพีคของสาร ละลายตัวอย่างแต่ละชนิดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละชนิดซึ่งมีความแม่นยำสูง การใช้ไอออนโครมาโทกราฟี จะทำให้การวิเคราะห์ไอออนในน้ำมีความถูกต้องและมี ความแม่นยำสูงและเป็นที่ยอมรับจากองค์กรต่างๆ เช่น ASTM, AOAC, ISO และ US EPA ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การพัฒนาระบบการทำงานภายในของไอออนโครมาโทกราฟี โดยให้คอลัมน์มีความจุมากขึ้น รูปในในการฉีดสารละลายตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น ตลอดจนพัฒนากระบวนการแยกสารปนเปื้อนที่มีความแม่นยำมากขึ้น โบรมेट คลอไรด์ และโครเมต เป็นสารปนเปื้อนในน้ำดื่มที่มีในระดับการปนเปื้อนไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้การตรวจวิเคราะห์ทำได้ยาก เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาและเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำดื่มแบบใหม่ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง วิเคราะห์สารได้หลายชนิดในเวลาเดียวกันและใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย

มิชาลสกี (Michalski. 2003) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษของโบรมेट ไอออนในน้ำดื่มบรรจุขวดโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สถานะที่เหมาะสมในการแยกไอออนคือคอลัมน์ Ion Pac AG9-HC, AS9-HC ใช้วิธีการชะแบบ เกรเดียนท์ โดยใช้ 9 มิลลิโมลาร์  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ASRS II เป็นสารละลายขับเพรสเชอร์ พบว่าโบรมेट ไอออนปริมาณน้อยกว่า 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

ฟู, ซี และซาง (Fu, Xie and Zhang, 2004) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณ สารอนินทรีย์ที่มีประจุลบในพืชสมุนไพรด้วยการพัฒนาเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี แยกไอออนด้วย คอลัมน์ Shim-Pack IC-AI โดยใช้ 2.5 มิลลิโมลาร์ phthalic acid ผสมกับ 2.4 มิลลิโมลาร์ tris (hydroxymethyl) amino-methane เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ การแยกไอออนลบ ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนไตรต์ โบรไมด์ ไนเตรท และซัลเฟต เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 นาที มีค่า  $R^2$  อยู่ระหว่าง 0.9992 และ 0.9997 วิธีวิเคราะห์นี้มี ความเที่ยงในรูปเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ต่ำกว่า 1.92 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนอยู่ในช่วง 96.6-100.4 เปอร์เซ็นต์

มุฮามัด, ลี และ โตโยฮิเดะ (Muhamad, Lee and Toyohide, 2007) ได้ทำการศึกษา ความแม่นยำในการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ที่มีประจุบวกและประจุลบด้วยไอออนโครมาโทกราฟี แบบไม่มีตัวปิดกั้น โดยวิธีเปิดปิดคอลัมน์ (switching column) เนื่องจาก ไอออนโครมาโทกราฟี เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สาร สามารถวิเคราะห์ อนินทรีย์ประจุลบ 7 ชนิด คือ เหล็ก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนไตรต์ คลอไรด์ โบรอน ไนเตรท และซัลเฟต หรือสามารถวิเคราะห์อนินทรีย์ประจุบวก 5 ชนิด ได้แก่ โซเดียม แอมโมเนียม โปรแตสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน โดยใช้ trimellitic acid ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ พีเอช 2.94 เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ สารละลายที่มีประจุลบ 7 ชนิด และประจุบวก 5 ชนิด จะถูกแยกโดยคอลัมน์ที่ใช้เป็นชนิดแลกเปลี่ยนไอออน ในกระบวนการวิเคราะห์สารที่เป็นประจุลบ จะถูกชะออกจากคอลัมน์ตามลำดับ ได้แก่ เหล็ก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนไตรต์ คลอไรด์ โบรอน ไนเตรท และ ซัลเฟต สารที่เป็นประจุบวกจะถูกชะออกจากคอลัมน์ตามลำดับ ได้แก่ โซเดียม แอมโมเนียม โปรแตสเซียม แมกนีเซียม และ แคลเซียม ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 35 นาที ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์มีขีดจำกัดในการตรวจวัด (3S/N) สารละลายประจุลบ 0.05-0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายประจุบวก 0.50-0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาไอออนโครมาโท กราฟี นับว่าเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ประจุบวกและประจุบวกที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำ

จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่า เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่พัฒนา มาเพื่อวิเคราะห์ไอออนได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ขั้นตอนการทำงานของระบบไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ที่มีจำนวนตัวอย่างมาก การเตรียมตัวอย่างง่าย ผลการวิเคราะห์ ถูกต้องแม่นยำ