

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ผู้ศึกษาค้นคว้าได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับ ดังนี้

1. ความสำคัญและประโยชน์ของน้ำ
2. อันตรายจากการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำดื่มบรรจุขวด
3. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคและมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มใน
ภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท
4. ขั้นตอนการผลิตน้ำบรรจุขวด
5. เทคนิคไอออน โครมาโทกราฟี
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
 - 6.1 งานวิจัยภายในประเทศ
 - 6.2 งานวิจัยในต่างประเทศ

ความสำคัญและประโยชน์ของน้ำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน อากาศร้อนทำให้รู้สึกกระหายน้ำร่างกายต้องการน้ำเข้าไปชดเชยเหงื่อที่ถูกขับออกมาเพื่อบรรเทาความร้อนในร่างกาย น้ำดื่มจึงเป็นที่นิยมมากที่สุด น้ำดื่มควรเป็นน้ำที่สะอาด ปราศจากเชื้อโรคและสารเคมีที่เป็นพิษต่อร่างกายในอดีตคนไทยนิยมรองน้ำฝนมาดื่ม แต่ปัจจุบันสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่มีอุตสาหกรรมและการจราจรที่คับคั่ง ทำให้อากาศมีการปนเปื้อนด้วยสารเคมี น้ำฝนจึงไม่เหมาะที่จะนำมาดื่ม หลายบ้านนิยมติดตั้งเครื่องกรองน้ำไว้ภายในบ้าน บางบ้านซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดหรือเกลตลอน ไว้ดื่มและบางบ้านนำน้ำประปามาต้มก่อนดื่ม (คุณณี สุทธิปรียาศรี และคณะ. 2539) น้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในร่างกายของเรา เพราะมากกว่า 70 % ในร่างกายมนุษย์คือ น้ำ และสมองของเรามีน้ำถึง 80 % เลือดมีน้ำ 90 % รวมถึงเซลล์ต่างๆ มีน้ำเป็นองค์ประกอบถึง 75 % ฉะนั้นน้ำจึงมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตเป็นอย่างมาก มนุษย์อาจจะอดอาหารได้เป็นเวลาหลายๆ วัน แต่หากอดน้ำ 4-5 วัน อาจเสียชีวิตได้เพราะน้ำเป็น

ส่วนประกอบหลักของร่างกาย ช่วยทำให้แก่กระหาย และแก้อาการขาดน้ำได้รวดเร็ว และแทรกผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้รวดเร็ว สามารถพาสารอาหารและออกซิเจนเข้าไป และนำคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียต่างๆ ออกมาจากเซลล์ เพื่อนำไปทิ้งนอกร่างกายได้ โดยสะดวก เป็นส่วนประกอบของเซลล์ต่างๆ มีบทบาทสำคัญในกระบวนการเผาผลาญสารอาหารเพื่อสร้างเป็นพลังงาน เป็นสารหล่อลื่นข้อต่อต่าง ๆ และช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ความต้องการน้ำจะต่างกันไปตามอายุ ขนาดร่างกาย กิจกรรมที่ทำให้สภาพแวดล้อมและสภาวะของร่างกาย โดยเด็กต้องการน้ำมากกว่าผู้ใหญ่และสภาวะบางอย่าง ทำให้ร่างกายต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเช่น มีไข้ อาเจียน ปัสสาวะบ่อย ท้องเสีย มีเหงื่อออกมากกว่าปกติ เป็นต้น น้ำมีความสำคัญต่อสุขภาพ และกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการดูดซึมวิตามินและกำจัดสารอาหารพิษของตับและไต ระบบย่อยอาหาร หากร่างกายขาดน้ำไม่อาจจะรับประทานอาหารกลุ่มไฟเบอร์เป็นจำนวนมาก เส้นใยไฟเบอร์ก็ไม่สามารถนำพาของเสียออกจากร่างกายได้ดี หากปราศจากน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ดังนั้นเพื่อให้การดื่มน้ำได้ประโยชน์สูงสุดควรที่จะพิจารณาถึงคุณภาพของน้ำที่ดื่มด้วยมากกว่ามองที่ปริมาณ น้ำสำคัญต่อชีวิตมีความสำคัญเป็นลำดับที่สองรองมาจากออกซิเจนในอากาศที่เราหายใจ คุณภาพของน้ำที่ดื่มเข้าไปในร่างกายจึงมีความสำคัญต่อชีวิต น้ำจะต้องตอบสนองความต้องการของร่างกาย ต้องคำนึงถึงความสะอาด ไม่มีสารเคมีหรือโลหะหนักเจือปน มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ มีขนาดของ โครงสร้างที่เล็ก มีเกลือแร่ที่ละลายอย่างพอเพียง ความขุ่นต่ำ และปริมาณที่ใช้ดื่มอย่างพอเพียงด้วย แร่ธาตุที่ดีต้องมีกำเนิดมาจากทะเลและมีโครงสร้างเล็ก เพราะจะทำให้ร่างกายนำไปใช้ได้ง่ายกว่าแร่ธาตุที่มาจากอาหารทั่วไป น้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ จะช่วยกำจัดความเป็นกรดและของเสียในร่างกาย ร่างกายในสภาวะสมดุลต้องการค่าพีเอช 7.4 แต่อาหารที่เรารับประทานรวมทั้งน้ำอัดลม จะมีค่าพีเอชเป็นกรดและเครื่องดื่มประเภทโคล่ามีค่าพีเอช 2.5 ความเครียดทางร่างกายเนื่องจากทำงานใช้กำลังและอยู่ในที่ร้อนๆ รวมทั้งความเครียดทางจิตใจ ล้วนแต่สร้างความเป็นกรดในร่างกาย การสะสมของเสียที่เป็นกรดนี้ เป็นต้นเหตุของความชรา เมื่อรวมทั้งเซลล์ในร่างกายที่อยู่ในสภาพขาดน้ำเรื้อรัง ความแก่จะยิ่งมาเร็วกว่าปกติ น้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่างจะช่วยล้างพิษของความเป็นกรด และช่วยเป็นตัวกันชน (Buffer) ให้ร่างกาย เพื่อสร้างความสมดุล น้ำดื่มที่ดี ย่อมช่วยให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพของร่างกาย เช่น ระบบเลือดดีขึ้นเพราะเม็ดเลือดแดงไม่ขาดน้ำ น้ำมีรสดี เพราะสะอาดและมีโครงสร้างเล็ก ทำให้ดื่มน้ำรู้สึกได้ น้ำช่วยป้องกันมะเร็ง เพราะเซลล์มะเร็ง

ไม่ชอบอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีออกซิเจนสมบูรณ์หรือสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง น้ำทำให้ร่างกายแข็งแรงขึ้น การอ่อนเพลียบางครั้งเกิดจากการขาดน้ำเรื้อรัง (สมศักดิ์ วรรคามิน. 2547)

อันตรายจากการปนเปื้อนของสารพิษในน้ำดื่มบรรจุขวด

1. ฟลูออไรด์ (F⁻)

“ฟลูออไรด์ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ฟลูออรีน” ชื่อสามชื่อนี้มีความเกี่ยวข้องกัน “ฟลูออรีน” เป็นธาตุ มีสถานะเป็นก๊าซ ฟลูออไรด์และไฮโดรเจนฟลูออไรด์ คือ สารประกอบที่มีฟลูออรีนจับกับธาตุอื่น เมื่อจับกับไฮโดรเจนจะเป็นไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ซึ่งเป็นก๊าซ เมื่อละลายน้ำ ก็กลายเป็นกรดไฮโดรฟลูออริก (สุชาติา ชินะจิตร. 2549) ฟลูออไรด์ เป็นสารประกอบของ “ฟลูออรีน” มีมากเป็นอันดับที่ 17 ของโลกในจำนวนธาตุต่างๆ ที่พบบนโลก เราสามารถพบฟลูออไรด์ได้ตามธรรมชาติ เช่น ในหิน ซึ่งส่วนมาเป็นฟลูออไรด์ในรูปของแคลเซียม นอกจากนั้นแล้วในชีวิตประจำวันเราสามารถได้รับฟลูออไรด์จากน้ำดื่ม อากาศที่เราหายใจ และยังพบฟลูออไรด์ได้ในอาหาร เช่น ในอาหารทะเล โดยเฉพาะปลาที่เรากินได้ทั้งตัว ทั้งหนังและกระดูก ส่วนในพืชผักก็มีฟลูออไรด์อยู่บ้าง เช่น ในผักกูดข่าย ติ่ง ใ้ มะระ ผักบู่ และกะหล่ำปลี เป็นต้น และพบมากที่สุดคือ ใบชา หรือใบเมี่ยง เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วฟลูออไรด์จะถูกดูดซึมเข้าไปในกระแสโลหิต แล้วกระจายไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น เลือด หัวใจ ของเหลวที่บริเวณไขสันหลัง กระดูก และฟัน เป็นต้น ฟลูออไรด์สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้อย่างรวดเร็วในทางเดินอาหารแต่ขึ้นกับความสามารถในการละลายของสารประกอบฟลูออไรด์นั้น โดยฟลูออไรด์จะถูกดูดซึมได้ช้าลงหากรับประทานพร้อมนมหรืออาหาร เมื่อฟลูออไรด์ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดแล้ว 50 % จะถูกขับถ่ายทางไต ค่อมเหงื่อ และอุจจาระ ที่เหลือส่วนใหญ่จับกับเนื้อเยื่อที่ประกอบ ด้วยแคลเซียม ได้แก่ กระดูกและฟัน ในรูปของผลึก ซึ่งปัจจุบันพบว่าฟลูออไรด์เป็นแร่ธาตุที่สำคัญต่อการสร้างกระดูกและฟัน การศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1874 หรือ 135 ปีมาแล้วพบหลักฐานที่แสดงถึงการใช้ฟลูออไรด์เพื่อป้องกันโรคเกี่ยวกับฟันเป็นครั้งแรก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ฟลูออไรด์ทางทันตกรรมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันและควบคุมโรคฟันผุ เด็กที่ได้รับฟลูออไรด์จากน้ำอย่างสม่ำเสมอในระดับที่เหมาะสมตั้งแต่เกิดมีอัตราฟันน้ำนมผุลดลงได้ถึง 50 % แม้ฟลูออไรด์จะช่วยป้องกันฟันผุแต่การได้รับฟลูออไรด์มากเกินไปทำให้เกิดผลเสียโดยฟลูออไรด์ทำให้กระดูกผิดปกติเพราะฟลูออไรด์ไปจับที่ข้อต่อบริเวณคอ หัวเข่าเชิงกราน

และหัวไหล่ ทำให้เคลื่อนไหวและเดินลำบาก ทั้งอาจเป็นรุนแรงจนเกิดภาวะกระดูกพรุน กระดูกหยุดการเจริญเติบโต กระดูกสันหลังเชื่อมติดกันทำให้พิการได้ในที่สุด นอกจากนี้ หากได้รับฟลูออไรด์ในปริมาณมากเกินไปในระยะที่กำลังสร้างเนื้อฟันทำให้เกิดฟันตกกระได้ (ชนิดา โพธิ์ดี และพรสุดา หน่อไชย. 2552) ซึ่งมักจะเกิดกับฟันแท้ ทำให้ฟันมีจุดสีขาวขุ่น เหลืองน้ำตาล หรือดำ กระจายทั่วผิวฟัน และสามารถกินลึกถึงเนื้อฟัน ไม่สามารถแปร่งหรือขูดออกไปได้

2. คลอไรด์ (Cl)

คลอไรด์ พบอยู่ในน้ำตามธรรมชาติทั่วไป ปริมาณของคลอไรด์เป็นส่วนสำคัญของเกลือแร่ที่เพิ่มขึ้น คลอไรด์มักจะละลายน้ำได้ดี ทำให้น้ำมีรสกร่อย (วิชากรมอนามัย. 2552) และพบมากในน้ำดิบและน้ำประปา โดยมากจะอยู่ในรูปของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โดยมักจะมาจากน้ำที่ไหลผ่านชั้นดิน ซึ่งโดยปกติจะมีพวกเกลือแร่ต่างๆ ที่มีคลอไรด์อยู่ และน้ำทะเลที่ขึ้นลงบริเวณปากแม่น้ำทั่วไป ซึ่งน้ำทะเลจะมีคลอไรด์อยู่ประมาณ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในบางครั้งจะใช้คลอไรด์เป็นตัวบ่งชี้บอกถึงการปนเปื้อนของน้ำที่มาจากห้องส้วม เนื่องจากเกลือที่อยู่ในอาหาร ได้ถูกบริโภคโดยคนส่วนใหญ่ แต่เป็นวิธีการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำที่มาจากห้องส้วมได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ค่าแอมโมเนียมาตรวจสอบ โดยทั่วไปคลอไรด์ที่มีปริมาณปกติจะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแก่ผู้บริโภค น้ำดื่มมาตรฐานน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าควรมีค่าคลอไรด์ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำประปา และจะยอมให้มีคลอไรด์ได้สูงสุดเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในหลายพื้นที่ของโลกได้มีคลอไรด์ในน้ำใช้มากถึง 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่พบว่า ไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคเลย ความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำธรรมชาติจะมีปริมาณแตกต่างกัน และโดยปกติจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อน้ำมีการละลายเกลือแร่เพิ่มมากขึ้น ฉะนั้นบริเวณต้นน้ำจะมีปริมาณคลอไรด์น้อย และจะเริ่มมีมากขึ้นเมื่อน้ำไหลสู่แม่น้ำ จนในที่สุดมีปริมาณมากที่สุดในน้ำทะเลและมหาสมุทร คลอไรด์จะเข้าสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้หลายทาง เช่น บริเวณปากแม่น้ำออกสู่ทะเล โดยที่น้ำเค็ม ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า จะเคลื่อนตัวอยู่ใต้น้ำจืดเข้าไปในแม่น้ำได้ไกล อันเป็นสาเหตุของน้ำกร่อยและน้ำมีรสเค็ม ทำให้ไม่อาจนำมาอุปโภค บริโภคได้ ด้วยสาเหตุนี้ จึงได้มีการขุดคลองประปาในสมัยรัชกาลที่ 5 เริ่มต้นที่จังหวัดปทุมธานีเพื่อทำน้ำดิบ (น้ำจืด) จากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาทำเป็นน้ำประปาแจกจ่ายให้แก่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งตั้งอยู่ใกล้ทะเลอ่าวไทย ในขณะที่เดียวกัน น้ำใต้ดินในบริเวณที่อยู่ใกล้ทะเลจะมีสมดุลสัณยสัมพันธ์ของน้ำ

(Hydrostatic balance) กับน้ำทะเล เช่นในจังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น ฉะนั้น ถ้ามีการสูบน้ำได้ดินมาใช้มากเกินไป สมดุลค้ำของน้ำก็จะแตกต่างกันอันเป็นสาเหตุให้น้ำทะเลเคลื่อนตัวเข้าสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้ โดยปกติคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นน้อยไม่เป็นอันตรายต่อคน แต่ถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้น้ำมีรสเค็ม ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่ชอบ (เคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553) และในระบบประปาสำนักงานประปาทุกแห่งในประเทศไทยจะใช้สารคลอรีน เพราะราคาถูก ใช้งานง่าย ทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ การใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฆ่าเชื้อโรค กำจัดกลิ่น และสีในน้ำ ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซนแล้วจะได้คลอไรท์ (ClO_2) คลอเรต (ClO_3^-) และคลอไรด์ไอออน (Cl^-) อันตรายของคลอเรตไอออนต่อสุขภาพคือ ทำให้เกิดการเจ็บช่องท้อง ท้องร่วง ระบาย กระบวนการขนส่งออกซิเจนของเม็ดเลือดแดง ซึ่งทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ และถ้าได้รับในปริมาณมากและเป็นระยะเวลานานจะส่งผลทำให้เม็ดเลือดแดงถูกทำลาย เกิดอาการไตวายได้ (Nowack and Gunten, 1999)

3. โบรไมด์ (Br)

น้ำดื่มบรรจุขวด ส่วนใหญ่ใช้วิธีการทำความสะอาดด้วยโอโซน เพราะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ ลดค่า BOD และ COD เนื่องจากโอโซนมีสภาพเป็นสารออกซิไดซ์สูง และสลายตัวได้เองจึงมีความปลอดภัยในการใช้สูง แต่มีเกิดผลข้างเคียงต่อสุขภาพ คือ โบรไมด์ไอออนเมื่อผ่านโอโซนจะถูกออกซิไดซ์เป็นโบรเมตไอออน หรือกรดไฮโปโบรมัส (HOBr) ซึ่งโบรเมตไอออนเป็นสารอนินทรีย์ที่มีความเสถียรมากที่อุณหภูมิห้อง และไม่ระเหย โบรเมตไอออนนี้มีอันตรายต่อสุขภาพค่อนข้างมาก เนื่องจากมีผลต่อความสามารถในการได้ยิน ทำให้กลิ่นไธ้อาเจียน เจ็บช่องท้อง ท้องร่วง ไตวาย โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดมาตรฐานโบรเมตไอออนในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (Jackson, 1998) และผู้ใหญ่ที่ดื่มน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม หากดื่มน้ำดื่มที่มี โบรเมตไอออนเข้มข้น 3 ไมโครกรัมต่อลิตร วันละ 2 ลิตร จะมีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งได้ จากมาตรฐานน้ำดื่มของ EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดให้มีโบรเมตไอออนได้ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลิตร (นิตยา เกตุแก้ว, นงนุช นนทปัทมกุล และสินีนานู บุญช่วย, 2544)

4. ไนเตรท (NO_3^-)

สารประกอบไนโตรเจนในน้ำ อยู่ในรูปสารอินทรีย์ ไนเตรท (NO_3^-), ไนไตรท์ (NO_2^-) และแอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในน้ำ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน เมื่อเวลาผ่านไปไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์จะลดลงเรื่อยๆ พร้อมกับการเพิ่มขึ้นของ NH_3 และถูกเปลี่ยนเป็น NO_2^- และในที่สุดเป็น NO_3^- นอกจากนั้นสารไนเตรทยังเป็นส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้น จึงสามารถพบสารไนเตรทได้ในน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน น้ำที่มีไนเตรทสูง อาจทำให้มีรสขม มีผลต่อเด็กทารก ถ้าดื่มน้ำที่มีสารประกอบที่มีไนเตรทสูงจะทำให้เกิดโรคตัวเขียว เด็กจะมีอาการตัวเขียว อ่อนเพลีย หายใจหอบถี่ ปวดศีรษะ หัวใจเต้นเร็ว และอาจเสียชีวิตได้ เนื่องจากการขาดออกซิเจนไปเลี้ยงร่างกาย ในรายเด็กโตหรือผู้ใหญ่จะไม่พบกรณีนี้ องค์การอนามัยโลกกำหนดปริมาณไนเตรทในน้ำไม่ควรเกิน 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบเท่าไนโตรเจนหรือ 45 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบเท่าไนเตรท ซึ่งหากสารประกอบไนเตรทเพิ่มสูงผิดปกติ แสดงถึงการปนเปื้อนของแหล่งน้ำนั้น อาจหมายถึงการปนเปื้อนจากส้วมหรือสิ่งปฏิกูลอื่นๆ ดังนั้น กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข จึงมีการเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำอยู่ตลอดเวลา โดยค่าไนเตรทเป็นค่าที่ต้องคอยเฝ้าระวัง อย่งไรก็ตาม ค่าไนเตรทในน้ำประปาพบต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตรเทียบเท่าไนโตรเจน ไม่เกินคุณภาพน้ำดื่มขององค์การอนามัยโลกหรือมาตรฐานน้ำประปาดื่มได้ของกรมอนามัย ปี 2543 (กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. 2548)

5. ซัลเฟต (SO_4^{2-})

ซัลเฟต (Sulfate) จะพบได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติในรูป CaSO_4 , MgSO_4 , Na_2SO_4 ฯลฯ ในน้ำประปาทั่วไปถ้ามีซัลเฟตปริมาณถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจทำให้ผู้ดื่มท้องเดินได้ถ้าร่างกายยังไม่เคยชินกับน้ำประปาที่มีซัลเฟตสูง ซัลเฟตยังสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อโครงสร้างคอนกรีต หรือแม้กระทั่งท่อซีเมนต์ไยหิน โดยพบว่ามีซัลเฟตปริมาณ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็มีผลทำให้กัดกร่อนแล้วแต่ไม่มาก และถ้ามีซัลเฟตสูงถึง 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป จะมีผลต่อการกัดกร่อนอย่างมาก จากมาตรฐานน้ำดื่มของ EPA (Environmental Protection Agency) ได้กำหนดไว้ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตรและขององค์การอนามัยโลกได้กำหนดไว้ว่าควรมีค่าซัลเฟตไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำประปา และยอมให้มีซัลเฟตได้สูงสุดเท่ากับ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ซัลเฟตเป็นอนินทรีย์สารแอนไอออนทั่วไปที่อยู่ในน้ำธรรมชาติต่างๆ แต่ถ้าคนเราบริโภคน้ำที่มีซัลเฟตมากเกินไป มักจะมี

ผลคล้ายกับยาถ่าย ด้วยเหตุนี้เราจึงกำหนดมาตรฐานน้ำดื่มไว้ที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนั้น ซัลเฟตยังทำให้น้ำกระด้างถาวร ซึ่งจะก่อตะกรันในหม้อต้มได้อีกด้วย (เคมีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553) และถ้ามีปริมาณซัลเฟตในน้ำมาก ทำให้มีรสฝืดหรือขม ถ้าเกิดร่วมกับแมกนีเซียม ดื่มแล้วอาจทำให้ท้องร่วง (เสกสรรค์ ทรัพย์ศิริ, 2537)

6. ฟอสเฟต (PO_4^{3-})

ฟอสเฟตในธรรมชาติ พบในรูปของหินฟอสเฟตหรือแร่ฟอสเฟต เมื่อถูกกัดกร่อนโดยน้ำ การชะล้างโดยฝน และกระแสลมปะปนอยู่ในดิน จะกลายเป็นรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ และ จะถูกถ่ายทอดไปในระบบนิเวศตามห่วงโซ่อาหาร เมื่อพืชตายลงก็จะถูกย่อยสลาย โดยแบคทีเรียที่เรียกรวม Phosphatizing Bacteria ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ส่วนนี้ นอกจากพืชนำไปใช้โดยตรงแล้ว ยังถูกกระบวนการชะล้างพัดพาลงสู่ทะเล ฟอสฟอรัสถือเป็นธาตุอาหารจำกัดบนพื้นดิน เพราะจะได้ฟอสเฟตจากการชะล้างเท่านั้น การเกษตรกรรมจะใช้น้ำปุ๋ยฟอสเฟตในรูปของสารประกอบอนินทรีย์ แต่ถ้าปุ๋ยเหล่านี้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำมาก จะเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชน้ำเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ถ้ามีปริมาณฟอสเฟตมากจะส่งผลต่อระบบสิ่งแวดล้อม ทำให้วัชพืชน้ำเติบโตเร็ว และช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินซึ่งหากบริโภคหรือสัมผัสน้ำที่มีสาหร่ายเหล่านี้จะมีผลเสียต่อสุขภาพ (บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2553) คือทำให้เกิดผื่นคันที่ผิวหนัง ทำให้ตาอักเสบหรือเกิดอาการท้องร่วงได้ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคและมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท

ตารางที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางกายภาพ	1.สี (Colour)	แพลตินัม-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 ^b	200

ตารางที่ 1 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางเคมี	13.แมกนีเซียม (Mg)	มก./ล.	50	150
	14.ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	มก./ล.	200	250 ^c
	15.คลอไรด์ (Cl)	มก./ล.	250	600
	16.ฟลูออไรด์ (F ⁻)	มก./ล.	0.7	1.0
	17.ไนเตรท (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 1 (ต่อ)

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	มาตรฐาน	
			เกณฑ์กำหนดสูงสุด (Maximum Acceptable Concentration)	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด (Maximum Allowable Concentration)
ทางจุด ชีววิทยา	28.แสดงคาร์ดเฟลต เคานต์ (Standard Plate Count)	โคโลนีต่อลบ.ซม. (Colonies/cm ³)	500	-
	29.เอ็มพีเอ็น (MPN)	โคลิฟอร์มอร์แก นิซึม ต่อ 100 ลบ.ซม. (Coliform Organism/100 cm ³)	น้อยกว่า 2.2	-
	30.อีโคไล (E.coli)	-	ไม่มี	-

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2550

หมายเหตุ

a เกณฑ์ที่อนุโลมให้สูงสุดเป็นเกณฑ์ที่อนุญาตให้สำหรับน้ำประปาหรือน้ำบาดาลที่มีความจำเป็นต้องใช้บริโภคเป็นการชั่วคราวและน้ำที่มีคุณลักษณะอยู่ในระหว่างเกณฑ์กำหนดสูงสุดกับเกณฑ์อนุโลมสูงสุดนั้น ไม่ใช่ทำให้เครื่องหมายมาตรฐานได้

b หากคัลเซียมมีปริมาณสูงกว่าที่กำหนด และแมกนีเซียม มีปริมาณต่ำกว่าที่กำหนดในมาตรฐานให้พิจารณาคัลเซียมและแมกนีเซียม ในเทอมของความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) ถ้ารวมความกระด้างทั้งหมดเมื่อคำนวณเป็นคัลเซียมคาร์บอเนต 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

คุณลักษณะ	ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด)
ทางกายภาพ	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 Soilds)	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 ⁻ , 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 (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 ₃ ⁻ -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 ₄ ²⁻)	มก./ล.	250
	22.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	5.0
	23.ฟลูออไรด์ (F ⁻) (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
ทางแบคทีรี	27. โคลิฟอร์ม (Coliform)	เอ็ม.พี.เอ็น/100 มล.	2.2
	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 น้ำดื่ม ที่ตั้งของผู้ผลิต ปริมาตรสุทธิ เลขทะเบียน อย.

อย่างชัดเจน

2. ขั้นตอนแรกในการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

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

2.2 เมื่อได้แหล่งน้ำดิบที่ต้องการแล้วจึงเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ซึ่งโดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดจะแบ่งเป็นขั้นตอนตามที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) กำหนดไว้คือ

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

ขั้นตอนการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบด้วย การใช้แสงอุลตราไวโอเลต (หลอด U.V.) หรือใช้ระบบ โอโซน (Ozone)

3. ระดับการผลิตน้ำดื่ม

การผลิตน้ำดื่มสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ได้แก่ การผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน และการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการผลิตที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน นั้นจะมีวิธีที่ไม่ซับซ้อน โดยมีขั้นตอนดังนี้ (พรศักดิ์ สมร ไกรสรกิจ. 2551)

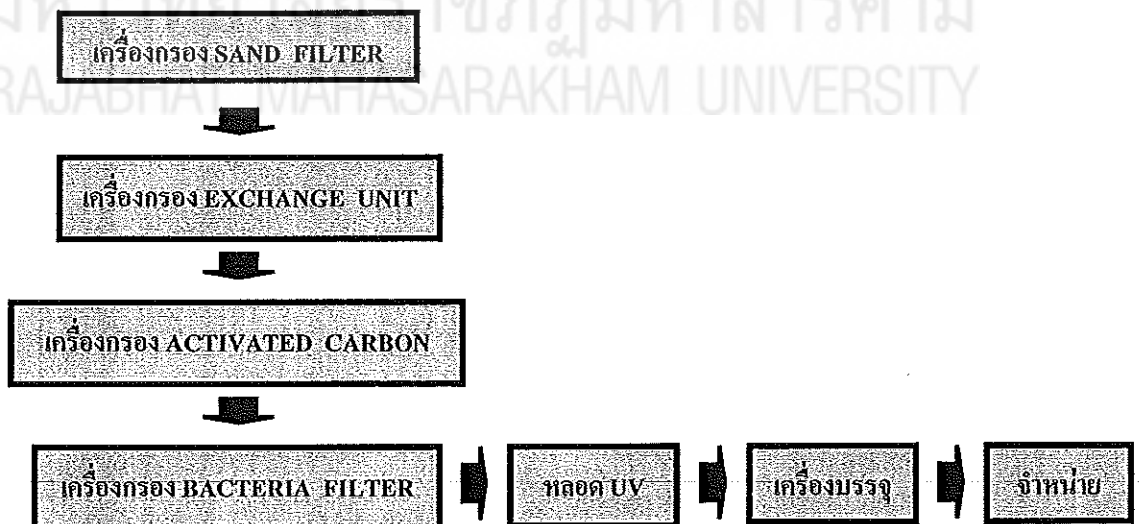
3.1 การกรองน้ำประปาหรือน้ำบาดาลด้วยเครื่องกรองทราย (Sand filter)

3.2 การกำจัดความกระด้างและเหล็ก โดยเครื่องกรอง Base exchange unit ซึ่งบรรจุผงกรองเรซิน

3.3 การกำจัดกลิ่น สี และตะกอน โดยเครื่องกรองที่มี Activated carbon

3.4 การกำจัดแบคทีเรีย โดยเครื่องกรองที่มีซี่กรองเป็น Ceramic (Ceramic filter)

3.5 การฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสี Ultra Violet โดยการผ่านน้ำเข้าสู่ถังที่ตั้งเครื่องกำเนิดแสง UV ตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อฆ่าเชื้อโรค เมื่อสิ้นสุดกระบวนการจึงผ่านน้ำเข้าสู่เครื่องบรรจุ เพื่อบรรจุใส่ภาชนะต่อไป



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน

ที่มา : การประปานครหลวง. 2550

4. ขั้นตอนการผลิตน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม

การผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม จะมีขั้นตอนการผลิตที่ยู่ยากซับซ้อน ส่วนใหญ่ใช้กับโรงงานรายใหญ่ ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้

4.1 นำน้ำประปาหรือสูบน้ำจากบ่อบาดาล โดยบ่อบาดาลจะมีความลึกและคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้งของโรงงาน แต่จะมีความลึกไม่น้อยกว่า 150 เมตร

4.2 นำน้ำดิบขึ้นทำ ปฏิกริยากับอากาศ เพื่อให้แร่ธาตุและสิ่งเจือปนบางชนิดตกตะกอน

4.3 เติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อ โรค และเร่งการตกตะกอนของแร่ธาตุ

4.4 สูบน้ำที่ผ่านการตกตะกอนและฆ่าเชื้อแล้ว ผ่านถังกรองทราย Sand filter กรองถ่าน Carbon และกรองความกระด้าง Softener

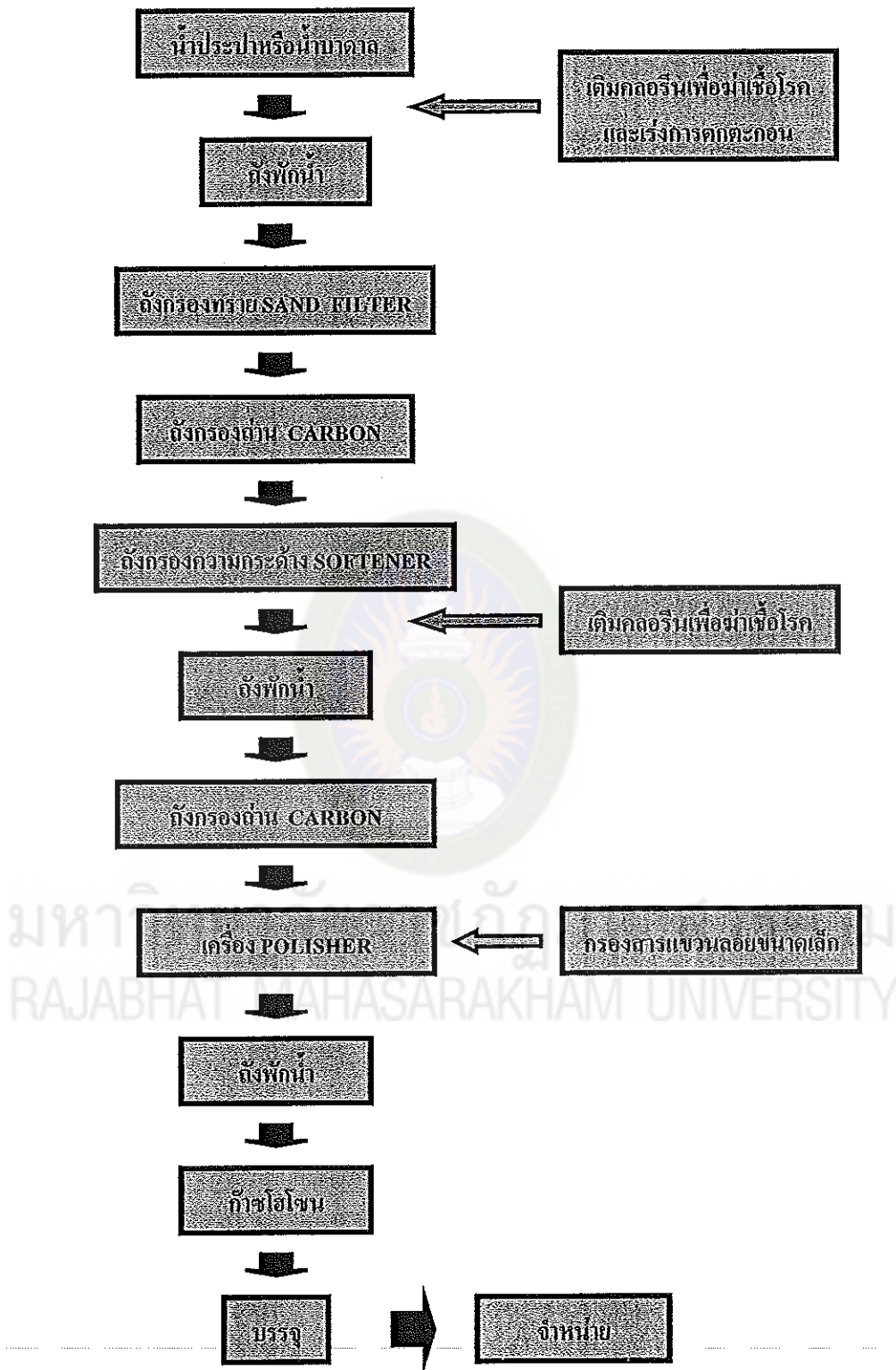
4.5 นำน้ำที่กรองแล้วเก็บเข้าถังพักน้ำ โดยเติมคลอรีนฆ่าเชื้อ โรคอีกครั้ง เพื่อป้องกันเชื้อ โรคที่ลอยอยู่ในบรรยากาศมาปนเปื้อน

4.6 นำน้ำที่ฆ่าเชื้อแล้วผ่านถังกรองถ่าน เพื่อกรองคลอรีน กลิ่นและสีอีกครั้ง

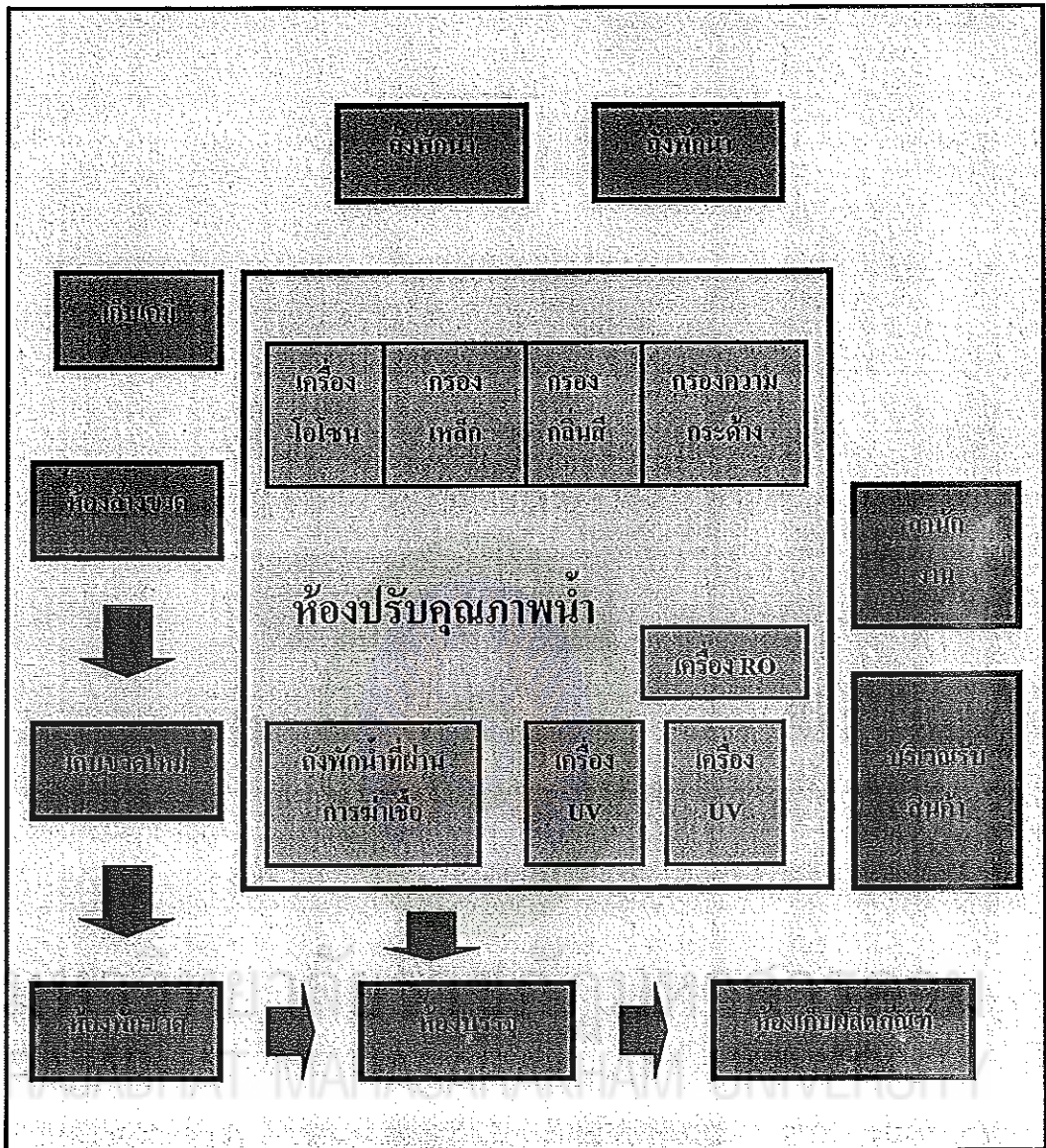
4.7 สูบน้ำผ่านเครื่อง Polisher เพื่อกรองสารแขวนลอยขนาดเล็ก

4.8 ส่งน้ำเข้าถัง เติมก๊าซโอโซน เพื่อฆ่าเชื้อ โรคในขั้นสุดท้าย

4.9 บรรจุน้ำลงในบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มในโรงงานอุตสาหกรรม
ที่มา : การประปานครหลวง. 2550



ภาพที่ 3 โครงสร้างโรงงานผลิตน้ำดื่ม
 ที่มา : การประปานครหลวง. 2550

เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี

ในอดีตที่ผ่านมาการแยกและวิเคราะห์หาปริมาณประจุลบเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและไม่น่าสนใจแต่จะเป็นเรื่องง่ายมากเมื่อใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี (Tetsuo and Tooru. 1984) เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณประจุลบและประจุบวก ในสารละลายได้ดี เทคนิคนี้มีความไวสูง สามารถประยุกต์ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ (Shpigun. 1985) และมีการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ฟอสเฟตและซัลเฟต ในแหล่งน้ำบริเวณโรงเรียนโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เทียบกับวิธีการวัดการดูดกลืนแสง พบว่าเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีมีความละเอียดในการวิเคราะห์สูง ใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย (Kumar and Kenneth. 2001) เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี นับว่าเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ประจุลบและประจุบวกที่ละลายอยู่ในน้ำ ตัวอย่างจากแม่น้ำ (Muhamad, Lee and Toyohide. 2007) และเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสามารถประยุกต์ใช้ความกว้างของพีคของสารละลายตัวอย่างแต่ละชนิดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุซึ่งมีความแม่นยำสูง การใช้ไอออนโครมาโทกราฟี จะทำให้การวิเคราะห์ไอออนในน้ำมีความถูกต้องและมีความแม่นยำสูงและเป็นที่ยอมรับจากองค์กรต่างๆ (Peter. 2001) นอกจากนี้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีสามารถวิเคราะห์สารอนินทรีย์ ประจุลบและประจุบวก ได้ดี แต่ปัจจุบันนี้ เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีถูกใช้สำหรับแยกสารตัวอย่างที่มีช่วงพีคกว้างมาก และสารประเภท amino acids และ carbohydrates (Haddad. 2004) และเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นวิธีที่เหมาะสมในการแยกและสามารถวิเคราะห์สารอนินทรีย์ประจุลบ และธาตุประเภท alkaline earth metal ions, transition metal ions, และ rare earth metal ions ได้ดีเช่นกัน (Yu and Wang. 2007)

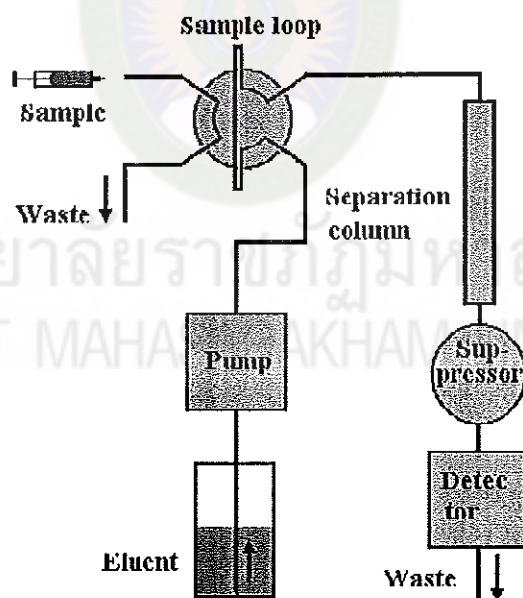
การวิเคราะห์แคทไอออน (Cation) และแอนไอออน (Anion) จะเห็นว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาปรับปรุงวิธีการต่างๆ เรื่อยมา เริ่มตั้งแต่วิเคราะห์ทางเคมี (Chemical method) เช่น การชั่งน้ำหนัก วิธีการวัดปริมาตร เป็นต้น จนกระทั่งการวิเคราะห์โดยการใช้เครื่องมือ (Instrumental method) เช่น วิธีการวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometric method) วิธีทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical method) และการใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟี (Chromatographic method) เป็นต้น

การพัฒนาเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี (Ion chromatograph, IC) พัฒนาโดยสมอลส์ (Small) และคณะในปี พ.ศ. 2518 มีส่วนประกอบพื้นฐานคล้ายกับเครื่องมือไฮเพอร์

ฟอแมนลิควิดโครมาโทกราฟี (High performance liquid chromatograph, HPLC) แตกต่างกันในส่วนคอลัมน์ 2 ชนิด ได้แก่ คอลัมน์ที่ใช้แยกสาร (Separator column) ซึ่งเป็นคอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange column) และซัพเพรสเซอร์คอลัมน์ (Suppressor column) คอลัมน์นี้ทำหน้าที่รับสัญญาณ (Signal) ที่เกิดจากการละลายตัวชะ (Eluent) ซึ่งเรียกว่า แบริครววน นอกจากนั้นยังใช้คอนดักทีวิตีเทกเตอร์ เป็นเครื่องมือวัด

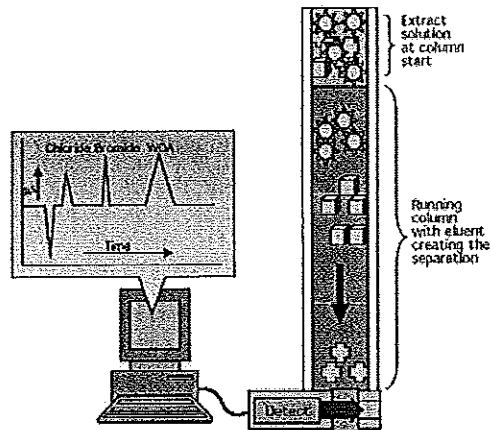
ต่อมาในปี พ.ศ.2522 ฟริทซ์ (Fritz) และ เจอร์ด (Gjerde) ได้พัฒนาเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟีระบบใหม่เพื่อลดปัญหาของเครื่องมือแบบแรก ส่วนประกอบของเครื่องคล้ายแบบเดิม แต่ใช้คอลัมน์เพียงชนิดเดียว คือคอลัมน์ที่ใช้แยกสาร ดังนั้นในปัจจุบันเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี จึงสามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานของเครื่องมือ ได้ 2 แบบ คือ แบบที่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์และแบบ ไม่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์

1. ไอออนโครมาโทกราฟีแบบมีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์ เทคนิคนี้ใช้เครื่องมือซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือไอออนโครมาโทกราฟี

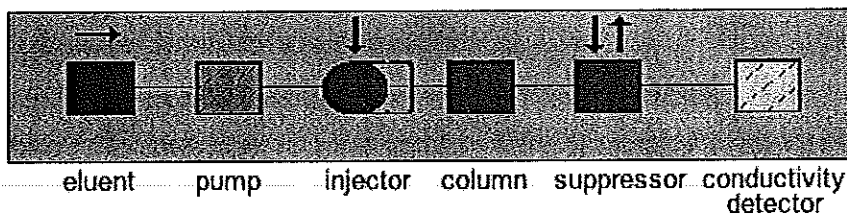
ที่มา : Ion-chromatography. 2010



ภาพที่ 5 แสดงเครื่องมือไอออน โครมาโทกราฟี

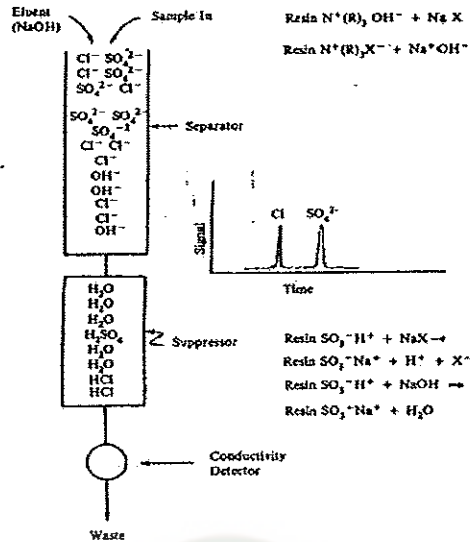
ที่มา : Ion-chromatography. 2010

การทำงานเริ่มจากการดูดสารละลายตัวชะส่งผ่านท่อต่างๆเข้า Injection valve คอลัมน์และเครื่องวัด ตามลำดับอยู่ตลอดเวลาด้วยอัตราการไหลคงที่ เมื่อจะวิเคราะห์สารใช้ ไมโครซีริงค์ดูด สารละลายตัวอย่างที่เตรียมอย่างเหมาะสมแล้ว ฉีดผ่าน Injection valve ซึ่งมี Loop ปริมาตรคงที่ สารละลายตัวชะจะพาสารที่วิเคราะห์ผ่านเข้าสู่คอลัมน์แยก หลังจากนั้น ไอออนแต่ละชนิดจะผ่านออกจากคอลัมน์ในเวลาแตกต่างกันแล้วจึงผ่านเข้าสู่ซัพเพรสเซอร์ คอลัมน์ซึ่งจะเปลี่ยน ไอออนที่วิเคราะห์เป็นกรดแก่หรือเบสแก่ที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific conductivity) สูงขึ้นและเปลี่ยนสารละลายตัวชะเป็นน้ำ กรดอ่อนหรือเบสอ่อนที่มี สภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำลง ดังนั้นสารละลายที่เข้าสู่เครื่องวัด จึงมีสภาพนำไฟฟ้าของสารตัว ชะและสารที่วิเคราะห์แตกต่างกันมากเป็นการเพิ่มสภาพไวของระบบทำให้ค่าต่ำสุดที่สามารถ วิเคราะห์ได้ ต่ำถึงระดับนาโนกรัม



ภาพที่ 6 แสดงคอลัมน์แยกในระบบของเครื่องมือไอออน โครมาโทกราฟี

ที่มา : Ion-chromatography. 2010



ภาพที่ 7 แสดงการแลกเปลี่ยน ไอออนแบบมีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์
ที่มา: อูมาพร สุขม่วง. 2534

2. ไอออน โครมาโทกราฟีแบบไม่ใช้ซัพเพรสเซอร์คอลัมน์ เนื่องจากไม่มีคอลัมน์สำหรับลดแบคกราวนด์ของสารตัวชะ จึงต้องเลือกสารตัวชะที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำ ส่วนมากจะใช้กรดอินทรีย์ชนิดอโรมาติก การพัฒนาเทคนิคนี้มีหลักสำคัญ 2 ประการ คือ

ประการที่ 1 เลือกคอลัมน์ที่มีจำนวนหมู่ฟังก์ชันนัลที่เป็นประจุต่อน้ำหนักของสารที่บรรจุในคอลัมน์ต่ำ (Low-capacity)

ประการที่ 2 เลือกตัวชะที่มีสภาพนำไฟฟ้าจำเพาะต่ำ เตรียมให้มีความเข้มข้นต่ำระดับมิลลิโมลาร์

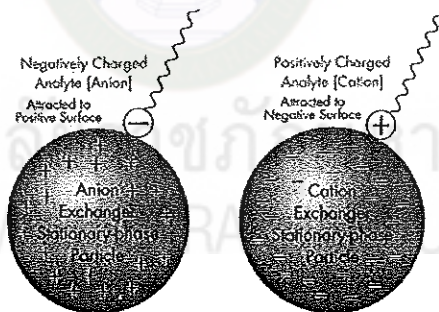
นอกจากนี้การพัฒนาไอออน โครมาโทกราฟีแบบไม่มีซัพเพรสเซอร์คอลัมน์จะต้องพิจารณาถึง การเลือกสารละลายตัวชะและการเลือกคอลัมน์ที่เหมาะสมในส่วนหนึ่งของเครื่องมือ ต้องเลือกวัสดุที่ใช้ทำระบบท่อ (Tubing) ปัม ให้ทนต่อสารตัวชะที่เป็นบัฟเฟอร์รวมทั้ง ออกแบบคอนดักติวิตีดีเทกเตอร์ให้มีความเสถียร (Stability) และมีสภาพไวสูงตลอดจน การใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในการลดค่าแบคกราวนด์ของสารตัวชะ (Electronic suppressor) การเพิ่มสภาพไวของการวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างสามารถทำได้โดยวิธีการเตรียมตัวอย่างให้เหมาะสม เช่น การเตรียมตัวอย่างให้เข้มข้นก่อนวิเคราะห์ (Pre-concentrate) เป็นต้น ไอออน โครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่ใช้แยกและวิเคราะห์ไอออนหลายชนิดซึ่งผสมรวมกันอยู่

ในตัวอย่างเดียวกันได้ในเวลาเร็ว ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การแยกและการตรวจวัดสัญญาณ

การแยกเกิดขึ้นโดยอาศัยหลักการที่สารแต่ละชนิดเคลื่อนที่ในคอลัมน์ได้แตกต่างกัน (Differential migration) ทำให้สารแต่ละชนิดผ่านออกจากคอลัมน์ในเวลาที่แตกต่างกัน และเวลาดังกล่าวเมื่อรายงานผลจะรายงานเป็นค่ารีเทนชันไทม์ (Retention time) ของสารนั้น ส่วนกระบวนการแยกที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องจากความสัมพันธ์ของสารที่บรรจุในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารที่เคลื่อนที่ (Mobile phase) หรือตัวชะ คอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์ ไอออนเป็นชนิดแลกเปลี่ยนไอออน คอลัมน์สารที่บรรจุในคอลัมน์เป็นสารเรซิน (Resin) หรือซิลิกา (Silica) ที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็นประจุบวกหรือลบเพื่อทำหน้าที่แลกเปลี่ยนไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้มีหลายชนิด เช่น

แคทไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้ ได้แก่ Sulphonic acid ($-\text{SO}_3\text{H}^+$) หรือ Carboxylic acid ($-\text{COOH}^+$)

แอนไอออน หมู่ฟังก์ชันนัลที่ใช้ ได้แก่ Quaternary amine [$-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3-\text{OH}$] หรือ Tertiary amine [$-\text{NH}^+(\text{CH}_3)_2-\text{OH}$]



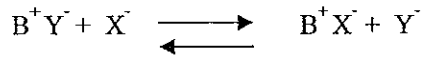
ภาพที่ 8 แสดงคอลัมน์ที่ใช้วิเคราะห์ไอออนเป็นชนิดแลกเปลี่ยนไอออน

ที่มา : Ion Exchange Chromatography. 2010

ส่วนตัวชะในกรณีข้างต้นเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ของกรดอินทรีย์ น้ำ และตัวทำละลายอินทรีย์พบว่าประสิทธิภาพของการแยกดังกล่าวขึ้นอยู่กับ การเลือกตัวชะ สารที่บรรจุในคอลัมน์และสภาวะการวิเคราะห์ที่เหมาะสม

ในกระบวนการแยกข้างต้น การแลกเปลี่ยนไอออนเกิดจากการแข่งขัน (Competible) กันระหว่าง ไอออนที่วิเคราะห์กับ ไอออนของสารตัวชะ เพื่อจับกับประจุของ

สารที่บรรจุในคอลัมน์ ดังตัวอย่างเช่น กรณีการวิเคราะห์แอนไอออนซึ่งสามารถเขียนแสดงโดยสมการดังนี้



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

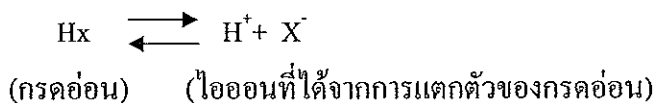
K_{xy} = ค่าสมมูลคงที่ (Equilibrium constant or Selectivity coefficient)

X^- = แอนไอออนที่วิเคราะห์

Y^- = แอนไอออนจากตัวชะ

B^+ = ประจุบนคอลัมน์

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



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

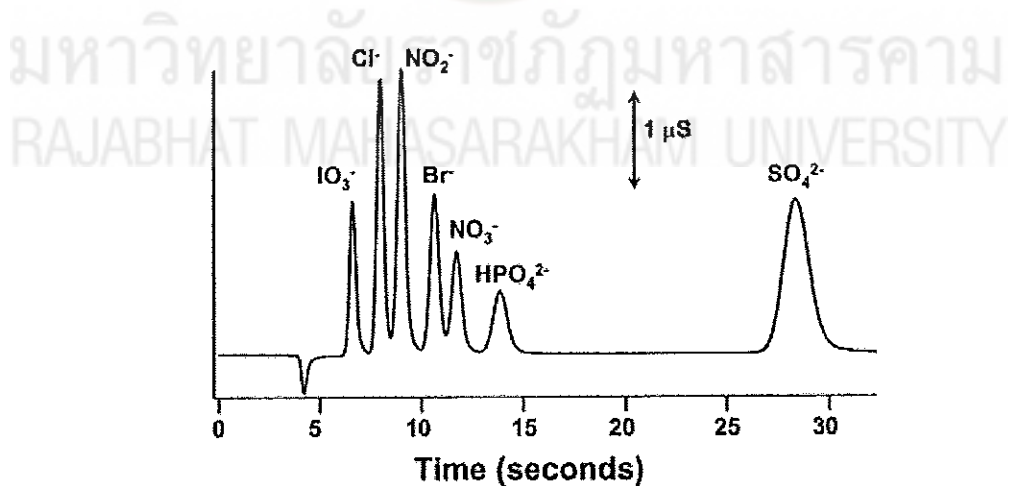
สำหรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอออนจากคอลัมน์นั้น สามารถพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Distribution coefficient, D_x) ดังนี้

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

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

จากสมการ จะเห็นได้ว่า ค่า D_x เกี่ยวข้องกับตัวแปรหลายอย่าง ในทางปฏิบัติพบว่า การปรับ pH และการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายตัวชะจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ารีเทนชันไทม์ของไอออนมาก สำหรับกรณีการวิเคราะห์แคทไอออนก็สามารถเขียนสมการอธิบายได้ในทำนองเดียวกับแอนไอออน

สำหรับขั้นตอนการตรวจวัดสัญญาณและการรายงานผลนั้น ไอออนแต่ละชนิดจะผ่านเข้าสู่เครื่องวัดในเวลาที่แตกต่างกัน สัญญาณที่ได้จะผ่านไปยังเครื่องบันทึก (Recorder) ซึ่งจะรายงานผลเป็นความสัมพันธ์ของเวลา (นาที) กับความเข้มข้นของสัญญาณเรียกว่า โครมาโทแกรม (ภาพที่ 8) ส่วนการวิเคราะห์ผลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณนั้นมีหลักการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ผลโครมาโทแกรมใน HPLC



ภาพที่ 9 แสดงโครมาโทแกรมการวิเคราะห์หาปริมาณแอนไอออน

ที่มา: Monica. 2010

การประยุกต์ใช้งาน

การวิเคราะห์ไอออนโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีนั้น นับเป็นความก้าวหน้าสำหรับงานวิเคราะห์วิจัยหลายๆ ด้าน ไอออนโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคที่สามารถใช้วิเคราะห์ไอออนได้หลายชนิดในขณะเดียวกัน โดยใช้เวลาวิเคราะห์ต่อหนึ่งตัวอย่างสั้นทำให้ประหยัด เวลาผลการวิเคราะห์ถูกต้องและเที่ยงตรงจึงนำเอาเทคนิคนี้ไปใช้ในงานวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างต่างๆ ทั้งในลักษณะที่ต้องทำเป็นประจำจำนวนตัวอย่างหรืองานที่ต้องสำรวจตัวอย่างเป็นช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง เช่น การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนำไปใช้วิเคราะห์ไอออนปริมาณต่ำมากๆ ในตัวอย่างต่างๆ เช่น น้ำดื่ม น้ำเสีย น้ำทะเล อาหาร ยาสีฟัน เครื่องดื่ม น้ำผลไม้ ดิน และน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นต้น (อุมาพร สุขม่วง. 2534) เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ใช้ในการวิเคราะห์น้ำ หาปริมาณความเข้มข้นของแอนไอออน เช่น ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ไนไตรท์ และซัลเฟต และวิเคราะห์แคตไอออนได้ดี เช่น ลิเทียม โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม (Monica. 2010)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยภายในประเทศ

ธนภรณ์ ณ เชียงใหม่ (2540) ได้ทำการศึกษาการหาปริมาณแอนไอออนและแคตไอออนในน้ำดื่มโดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ในการศึกษาี้ ในการศึกษาี้ ได้นำไอออนโครมาโทกราฟีสามรูปแบบมาหาปริมาณไอออนในน้ำดื่ม รูปแบบแรก คือ ไอออนโครมาโทกราฟี ในวิธีซัพเพรสชันอัด โนมัติ ที่มี 1.80 มิลลิโมลาร์โซเดียมไบคาร์บอเนตผสมกับ 1.70 มิลลิโมลาร์โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ อัตราการไหลเป็น 2.0 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้คอลัมน์ไอออนแพค เอเอส 4 เอ ขนาด 4x250 มิลลิเมตร และใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดค่าการนำไฟฟ้า รูปแบบที่สองอาศัยวิธีซัพเพรสชันทางเคมีที่มี 20 มิลลิโมลาร์ กรดมีเทนซัลโฟนิกเป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ที่มีอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และ 25 มิลลิโมลาร์ เตตระบิวทิล-แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ เป็นรีเจนเนอแรนต์ ที่มีอัตราการไหล 6.0 มิลลิโมลาร์ต่อนาที คอลัมน์ที่ใช้แยกคือ ซีเอส 12 ขนาด 4x250 มิลลิเมตร และใช้เครื่องตรวจวัดแบบวัดค่าการนำไฟฟ้า รูปแบบที่สามเป็นแบบที่ทำให้เกิดอนุพันธ์ใหม่

ภายหลังออกมาจากคอลัมน์แยกที่มี 50 มิลลิโมลาร์ สารละลายกรดออกซาลิก พีเอช 5.3 เป็น
 สารละลายเฟสเคลื่อนที่มีอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และ 4×10^{-4} โมลาร์
 4-(2- ฟิริคิล-เอโซ) รีเซอร์-ซินอล (พาร์) เป็นสารละลายโพสค์คอลัมน์ที่มีอัตราการไหล 0.5
 มิลลิลิตรต่อนาที คอลัมน์ที่ใช้เป็น ไอออนแพค ซีเอส 5 ขนาด 4×250 มิลลิเมตร และใช้
 เครื่องตรวจวัดชนิดยูวีวิสซิบิลความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร สำหรับหาปริมาณของตะกั่ว
 (II) ทองแดง (II) แมงกานีส (II) สังกะสี (II) และนิกเกิล (II) ตามลำดับ ภายใต้สภาวะ
 ไอออนโครมาโทกราฟีที่เหมาะสม พบว่าช่วงความยาวเป็นเส้นตรงของ 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 ซีดต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้เป็น
 0.26, 0.17, 0.57, 0.58, 0.88, 0.75 และ 0.20 นาโนกรัม ตามลำดับ ร้อยละการกลับคืนของ
 การวิเคราะห์อยู่ในช่วง 96.90-98.42 พบว่า ปริมาณของแอนไอออนในน้ำดื่ม โดยเทคนิค
 ไอออนโครมาโทกราฟีและเทคนิคสเปกโทรแอนาลิทีคัลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับ
 หาปริมาณแอนไอออน จากตัวอย่างน้ำดื่มจำนวน 20 ตัวอย่าง แอนไอออนที่ตรวจพบคือ
 ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนเตรท ฟอสเฟต และซัลเฟต ในช่วงปริมาณความเข้มข้น 0.79-1.31,
 0.78-173.38, 0.10-19.88, 0.12-5.79 และ 0.19-64.71 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร สำหรับแคท
 ไอออนที่วิเคราะห์ 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 กักดีพิน และคณะ (2541) ได้ศึกษาการหาปริมาณไนไตรท์ ในน้ำทะเล
 ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เพราะระดับความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรท เป็น
 คำนึงถึงระดับคุณภาพของน้ำ ในรายงานนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณไนไตรท์และ
 ไนเตรท โดยวิธีไอออนโครมาโทกราฟี ที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งผ่านการแยก
 ด้วยคอลัมน์ IonPac AS 15 อัตราการไหลเท่ากับ 0.25 มิลลิลิตรต่อนาที ตรวจวัดค่าการดูด
 กลืนแสงที่ความยาวคลื่น 210 นาโนเมตร ซึ่งสามารถตรวจวัดไนไตรท์และไนเตรทได้ใน
 ระดับไมโครกรัมต่อลิตร และพิกแสดงค่ารีเทนชันไทม์น้อยกว่า 10 นาที ใช้สารละลายเฟส
 เคลื่อนที่เป็นสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 50.0 มิลลิโมลาร์ และใช้สาร
 ตัวอย่างปริมาตร 25 ไมโครลิตร ค่าความถูกต้องในช่วงความเข้มข้น 0.03 ถึง 4.00 มิลลิกรัม
 ต่อลิตรอยู่ในช่วง 82- 100 % ความสัมพันธ์เชิงเส้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) สูงกว่า

0.999 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection , LOD) ในไตรท์และไนเตรท มีค่าเท่ากับ 20.0 และ 30.0 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ศุภรัตน์ ทศนาปริษา, ชุตินา ศรีวิบูลย์ และวัชรีย์ ชาตกิตติคุณวงศ์ (2545) ได้ศึกษาการใช้วิธีไอออนโครมาโทกราฟีแยกโลหะหนักในรูปของสารเชิงซ้อนกับ 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 $NaHCO_3$ เป็นตัวชะและตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีระบบของการขับเพรสตามปกติเงื่อนไขนี้ใช้แยกแอนไอออนอนินทรีย์ จึงทำให้ระบบสามารถแยกแอนไอออนอนินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อน 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) ได้ศึกษาเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีได้รับการพัฒนาสำหรับการวิเคราะห์แอนไอออนที่มีคลอรีนสี่ชนิด คือ คลอไรด์ คลอไรต์ คลอเรต และเพอร์คลอเรต ในตัวอย่างน้ำธรรมชาติและน้ำที่ผ่านการบำบัด โดยใช้การชะแบบเกรเดียนต์และแบบไอโซเครติก ระบบเกรเดียนต์ประกอบด้วยคอลัมน์ ไอออนแพค เอเอส 4 เอ-เอสซี และเครื่องตรวจวัดสภาพการนำไฟฟ้า ที่มีสถานะเกรเดียนต์จากสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ เป็นสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ด้วยอัตราการไหล 2 มิลลิลิตรต่อนาที การแยกของแอนไอออนทั้งหมดนี้เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายในเวลา 18 นาทีโดยปราศจากการรบกวนของแอนไอออนสามัญ ความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.4-200, 0.2-100, 0.2-200 และ 0.4-200 นาโนกรัมต่อไมโครลิตรของคลอไรด์ คลอไรต์ คลอเรตและเพอร์คลอเรต ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.9890, 0.9998, 0.9999 และ 0.9999 ตามลำดับ จากการใช้ปริมาตรการฉีดสารเท่ากับ 100 ไมโครลิตร พบว่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์ของแอนไอออนเหล่านี้คือ 0.03, 0.01, 0.02 และ 0.06 นาโนกรัมต่อไมโครลิตร ในการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำได้ใช้สารละลายของเอธิลีนไดเอมีนในการป้องกันการสลายตัวของคลอไรต์ ค่าร้อยละการกลับคืน

ของแอนไอออนทั้งหมดนี้อยู่ในช่วง 85.40-112.97 เปอร์เซ็นต์ ด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์ 1.05-5.46 เปอร์เซ็นต์

สมเกียรติ ประจักษ์ และองอาจ จุลจันทร์ (2549) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาธาตุ ที่มีประจุลบด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี ของน้ำมันดิบจากอำเภอนวม จังหวัด นครศรีธรรมราช เพื่อศึกษาปริมาณของคลอไรด์ ไนเตรทและซัลเฟตที่มีอยู่ในน้ำมันดิบ โดย มีโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KHP) พีเอช 4.2 เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ผล การวิเคราะห์พบว่าปริมาณไอออนของคลอไรด์และซัลเฟตเท่ากับ 7.148 และ 90.961 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ไม่พบไอออนของไนเตรท ผลจากการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทาง ในการกำจัดธาตุที่มีประจุลบออกไปได้ เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้ระบบท่อส่ง น้ำมันดิบนั้นเกิดความเสียหาย

ภิญชรา เกตุแก้ว, ทิพาภัทร อ้นคอนกลอย และวรรณภา สุจริตเนติการ (2551) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาโบรเมตและคลอเรตไอออนปริมาณน้อยในน้ำดื่มบรรจุขวด โดย เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี จะทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อเพิ่มความเข้มข้น โบรเมตและ คลอเรตไอออน โดยการลดปริมาตรน้ำตัวอย่างลงประมาณ 5 เท่าด้วยความร้อนและกำจัด คลอไรด์ไอออน ซึ่งเป็นสารแทรกสอดที่รบกวนการวิเคราะห์ปริมาณ โบรเมตไอออนด้วย สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ก่อนแยกวิเคราะห์ไอออนด้วยคอลัมน์ STAR-ION-A300 โดยมี สารละลายบัฟเฟอร์ NaHCO_3 ผสมกับ Na_2CO_3 อัตราส่วนความเข้มข้น 2.2 : 5.0 มิลลิโมลาร์ เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที จากผลการศึกษาพบว่า กราฟ มาตรฐานที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณ โบรเมตและคลอเรตไอออนเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.003-9.0 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า R^2 เท่ากับ 0.999 ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) สำหรับโบรเมตและคลอเรตไอออนเท่ากับ 0.003 และ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร ตาม ลำดับ วิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงในรูปเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) และความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์การได้กลับคืนของ โบรเมตและคลอเรตไอออนอยู่ในช่วง 1.28-2.52 เปอร์เซ็นต์ และ 96.6-98.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้น ด้วยการลดปริมาตรโดยใช้ความร้อนเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม ทำให้ สามารถวิเคราะห์โบรเมตและคลอเรตไอออนที่มีความเข้มข้นต่ำได้ด้วยเทคนิคไอออน-โครมาโทกราฟี ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีความถูกต้องแม่นยำสูง

ปรีชา มั่นสลาย และคณะ (2551) ได้ศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟต์ใน ไวน์ ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี หลังจากออกซิไดซ์ซัลไฟต์เป็นซัลเฟตด้วยไฮโดรเจน

เปอร์-ออกไซด์ โดยปกติการตรวจวัดซัลไฟต์ในไวน์นั้น พบว่าฟีกของซัลไฟต์ จะถูกรบกวนจากฟีกอื่น แต่ฟีกของซัลเฟตนั้นไม่มี ฟีกรบกวน จึงได้เปลี่ยนซัลไฟต์ให้เป็นซัลเฟต โดยการออกซิไดซ์ ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสภาวะที่เหมาะสม และทำการฉีดตัวอย่างเข้าระบบไอออนโครมาโทกราฟี ใช้วิธีการชะแบบเกรเดียนท์ โดยใช้คอลัมน์ชนิดแลกเปลี่ยนไอออน ใช้สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ตรวจวัดสัญญาณด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าที่มีระบบขับเพรสเชอร์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ สามารถวิเคราะห์หาปริมาณซัลไฟต์ในไวน์ได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำ ใช้สารตัวอย่างปริมาณน้อย กราฟมาตรฐานของซัลไฟต์ให้ช่วงเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.2-20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีดจำกัดในการตรวจวัด (3S/N) เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. งานวิจัยในต่างประเทศ

ปีเตอร์ (Peter. 2001) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกชนิดของไอออนด้วยวิธี ไอออนโครมาโทกราฟี โดยการประยุกต์ใช้ความกว้างของฟีกของสาร ละลายตัวอย่างแต่ละชนิดซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละตัวซึ่งมีความแม่นยำสูง การใช้ไอออนโครมาโทกราฟี จะทำให้การวิเคราะห์ไอออนในน้ำมีความถูกต้องและมีความแม่นยำสูงและเป็นที่ยอมรับจากองค์กรต่างๆ เช่น ASTM, AOAC, ISO และ US EPA ตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา การพัฒนาระบบการทำงานภายในของไอออนโครมาโทกราฟี โดยให้คอลัมน์มีความจุมากขึ้น รูปโมในการฉีดสารละลายตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น ตลอดจนพัฒนากระบวนการแยกสารปนเปื้อนที่มีความแม่นยำมากขึ้น โบรเมต คลอไรด์ และโครเมต เป็นสารปนเปื้อนในน้ำดื่มที่มีในระดับการปนเปื้อน ไมโครกรัมต่อลิตร ทำให้การตรวจวิเคราะห์ทำได้ยาก เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟีถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาและเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำดื่มแบบใหม่ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง วิเคราะห์สารได้หลายชนิดในเวลาเดียวกันและใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย

มิชาลสกี (Michalski. 2003) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารพิษของโบรเมตไอออนในน้ำดื่มบรรจุขวดโดยใช้เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี สภาวะที่เหมาะสมในการแยกไอออนคือ คอลัมน์ Ion Pac AG9-HC, AS9-HC ใช้วิธีการชะแบบเกรเดียนท์ โดยใช้ 9 มิลลิโมลาร์ Na_2CO_3 เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่อัตราการใช้ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ASRS II เป็นสารละลายขับเพรสเชอร์ พบว่าโบรเมตไอออนปริมาณน้อยกว่า 2.5 ไมโครกรัมต่อลิตร

ฟู, ซี้ และซาง (Fu, Xie and Zhang. 2004) ได้ทำการศึกษาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีประจุลบในพืชสมุนไพรด้วยการพัฒนาเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี แยกไอออนด้วยคอลัมน์ Shim-Pack IC-AI โดยใช้ 2.5 มิลลิโมลาร์ phthalic acid ผสมกับ 2.4 มิลลิโมลาร์ tris (hydroxymethyl) amino-methane เป็นสารละลายเฟสเคลื่อนที่ การแยกไอออนลบ ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ไนไตรท์ โบรไมด์ ไนเตรท และซัลเฟต เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ภายใน 10 นาที มีค่า R^2 อยู่ระหว่าง 0.9992 และ 0.9997 วิธีวิเคราะห์นี้มี ความเที่ยงในรูปเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) ต่ำกว่า 1.92 เปอร์เซ็นต์ และความถูกต้องในรูปเปอร์เซ็นต์การ ได้กลับคืนอยู่ในช่วง 96.6-100.4 เปอร์เซ็นต์

มุฮามัด, ลี และโตโยฮิ (Muhamad, Lee and Toyohide. 2007) ได้ทำการศึกษาความแม่นยำในการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ที่มีประจุบวกและประจุลบด้วยไอออนโครมาโทกราฟี แบบไม่มีตัวปิดกั้น โดยวิธีเปิดปิดคอลัมน์ (switching column) เนื่องจาก ไอออนโครมาโทกราฟี เป็นวิธีการที่มีความแม่นยำในการวิเคราะห์สาร สามารถวิเคราะห์ อนินทรีย์ประจุลบ 7 ชนิด คือ เหล็ก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไนไตรท์ 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 ไนไตรท์ คลอไรด์ โบรอน ไนเตรท และซัลเฟต สารที่เป็นประจุบวกจะถูกชะออกจากคอลัมน์ตามลำดับ ได้แก่ โซเดียม แอมโมเนียม โปรแตสเซียม แมกนีเซียม และ แคลเซียม ใช้เวลาในการวิเคราะห์ 35 นาที ความสามารถในการตรวจวิเคราะห์ที่มีขีดจำกัดในการตรวจวัด (3S/N) สารละลายประจุลบ 0.05-0.58 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายประจุบวก 0.50-0.38 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาไอออนโครมาโทกราฟี นับว่าเป็นกระบวนการที่มีความเหมาะสมในการวิเคราะห์สารอนินทรีย์ประจุลบและประจุบวกที่ละลายอยู่ในน้ำตัวอย่างจากแม่น้ำ

จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่า เทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคที่พัฒนามาเพื่อวิเคราะห์ไอออนได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ขั้นตอนการทำงานของระบบไม่ซับซ้อน ใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้น เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ที่มีจำนวนตัวอย่างมาก การเตรียมตัวอย่างง่าย ผลการวิเคราะห์ถูกต้องแม่นยำ