บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการผลิตน้ำบริโภคจะต้องมีการปรับคุณภาพน้ำดิบที่นำมาใช้ ซึ่งคุณภาพของน้ำเป็นส่วนมี่สำคัญมากที่มีผลต่อการเลือกระบบ หรือ วิธีที่จะปรับคุณภาพน้ำ หากได้แหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี เช่น เป็นแหล่งน้ำห่างจากแหล่งโสโครกหรือสิ่งปฏิกูล น้ำทิ้ง น้ำเสียจากบ้านเรือน จากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ที่มีการปล่อยสารพิษลงสู่สิ่งแวดล้อมหรือแม่น้ำ ก็จะลดความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสิ่งต่าง ๆ ลงสู่น้ำดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิต

การผลิตน้ำบริโภคสามารถปฏิบัติตามหลักเกณฑ์วิธีที่ดี หรือ จีเอ็มพี (Good-Manufacturing Practice : GMP) ได้นั้นควรจะมีการจัดทำโครงการยกมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง (ดนัย วีณะคุปต์ 2541) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สถานที่ผลิตและอาคารผลิต
2. เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต
3. แหล่งน้ำ
4. การปรับคุณภาพน้ำ
5. ภาชนะบรรจุ
6. สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ
7. การควบคุมคุณภาพมาตรฐาน
8. การบรรจุ
9. การสุขาภิบาล
10. บุคลากรและสุขลักษณะ
11. การบันทึกและรายงาน
12. คุณภาพน้ำ

1. สถานที่ผลิตและอาคารผลิต

1.1 สถานที่ตั้ง

สถานที่ตั้ง ต้องอยู่ในที่เหมาะสม หมายถึง ต้องไม่ตั้งอยู่ใกล้บริเวณ หรือสถานที่ต่าง ๆ ที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนเข้าในอาคารผลิต ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของน้ำบริโภคที่ผลิตได้ เช่น สถานที่เลี้ยงสัตว์ บริเวณหรือสถานที่ซึ่งมีถนน ทางเดินที่มีฝุ่นมากผิดปกติ บริเวณที่มีน้ำขังเฉอะแฉะ เป็นต้น แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ สถานที่หรือแหล่งต่าง ๆ เหล่านั้นเกิดขึ้นภายหลังผู้ผลิตจะต้องดำเนินการป้องกันการปนเปื้อนที่อาจเกิดขึ้นได้โดยหามาตรการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ เช่น ติดมุ้งลวด ม่านกันแมลงเป็นต้น

1.2 อาคาร

อาคารผลิตต้องมีผนังทั้ง 4 ด้าน การจัดอาคารอย่างน้อยจะต้องประกอบด้วย

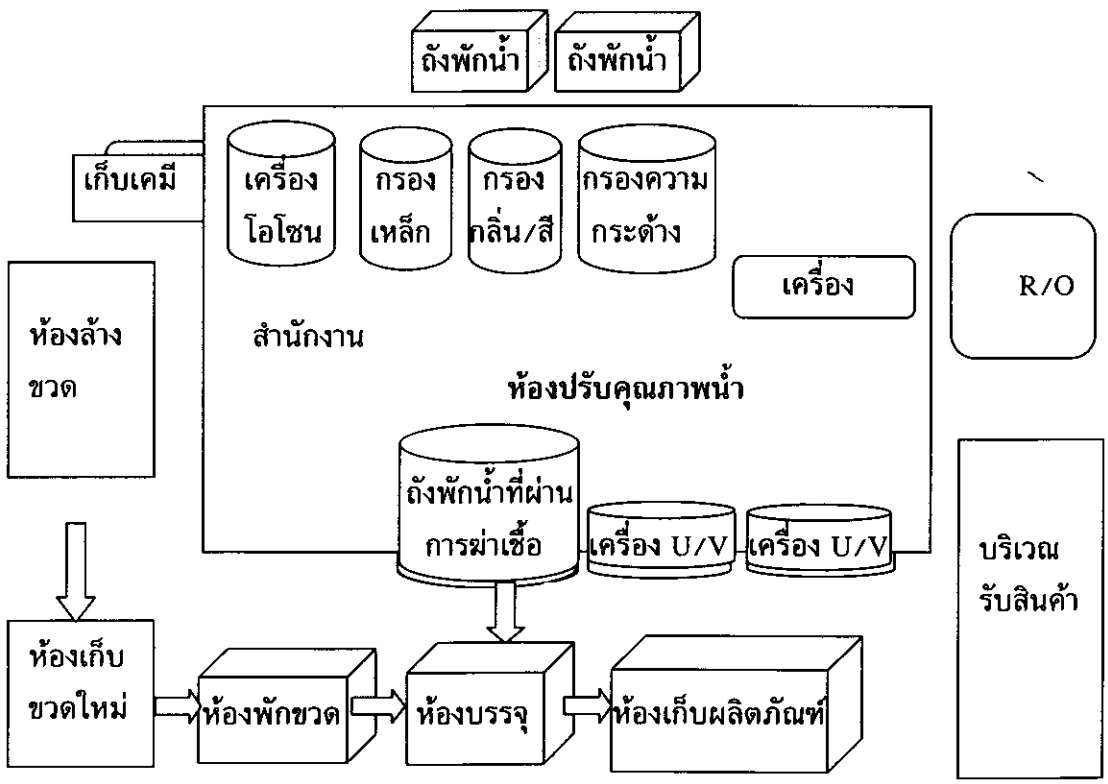
1.2.1 ห้องติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ปรับคุณภาพน้ำ ห้องดังกล่าวต้องมีพื้นลาดเอียงมีทางละบายน้ำและไม่มีน้ำขัง

1.2.2 ห้องหรือบริเวณเก็บภาชนะก่อนล้างห้องนี้ต้องมีพื้นที่แห้งมีชั้นหรือยกพื้นมีมาตรการป้องกันฝุ่นละออง

1.2.3 ห้องหรือบริเวณล้างและฆ่าเชื้อภาชนะบรรจุห้องดังกล่าวต้องมีพื้นลาดเอียงไม่มีน้ำขังและมีทางระบายน้ำมีระบบจัดแยกภาชนะที่กำลังรอล้างและที่ล้างแล้ว

1.2.4 ห้องบรรจุห้องนี้ต้องมีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนอย่างมีประสิทธิภาพมีทางเข้าออกที่สามารถป้องกันสัตว์ แมลง ไม่เป็นทางเดินผ่านไปยังบริเวณหรือห้องอื่น ๆ มีพื้นลาดเอียงไม่มีน้ำขังและมีทางระบายน้ำมีโต๊ะและหรือแท่นบรรจุซึ่งทำความสะอาดง่าย ห้องบรรจุดังกล่าวต้องมีการใช้และปฏิบัติงานจริง

1.2.5 ห้องหรือบริเวณเก็บผลิตภัณฑ์ ห้องนี้ต้องมีชั้นหรือยกพื้นรองรับมีระบบการเก็บผลิตภัณฑ์เพื่อรอจำหน่าย



ภาพที่ 1 โครงสร้างโรงงานผลิตน้ำดื่ม

2. เครื่องมือเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต

ผู้ผลิตต้องจัดหาเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตต่าง ๆ ให้เพียงพอและเหมาะสม ซึ่งอย่างน้อยจะต้องประกอบด้วย

2.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตน้ำบริโภคทั้งนี้การเลือกชนิดของเครื่องกรองและไส้กรองต้องคำนึงถึงสภาพของแหล่งน้ำที่ใช้เป็นสำคัญนอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีอุปกรณ์การฆ่าเชื้อในขั้นตอนสุดท้ายก่อนการบรรจุด้วย ผู้ผลิตควรมีความรู้เบื้องต้นในเรื่องดูแล ทำความสะอาดและบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์เหล่านี้เป็นอย่างดี

2.2 เครื่องและอุปกรณ์ล้างภาชนะบรรจุ ต้องจัดเตรียมให้เหมาะสมกับชนิดและปริมาณของภาชนะบรรจุ การล้างภาชนะบรรจุอาจล้างแบบปกติหรือใช้เครื่องอัตโนมัติ การล้างปกติต้องมีการใช้อุปกรณ์ขัดถูอย่างเหมาะสม ส่วนการใช้เครื่องอัตโนมัติต้องศึกษาวิธีการใช้ที่ถูกต้องและตรวจสภาพการทำงานของเครื่องอย่างสม่ำเสมอ

2.3 ท่อส่งน้ำ ควรทำจากวัสดุที่ไม่เป็นอันตรายหรือมีผลต่อคุณภาพมาตรฐานของน้ำที่ผลิตเช่น ท่อพลาสติกพีวีซี (สีฟ้า) หรือท่อที่ทำจากวัสดุอื่นที่มีคุณภาพทัดเทียมหรือดีกว่า

2.4 เครื่องและอุปกรณ์การบรรจุ ต้องทำจากวัสดุที่ทำความสะอาดได้ง่ายและไม่ก่อให้เกิดการเจริญเติบโตสะสมหรือปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียหรือสารปนเปื้อนอื่น ๆ

2.5 เครื่องและอุปกรณ์การปิดผนึก อาจใช้เป็นเครื่องอัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ หรือปิดโดยคนงาน การใช้คนงานปิดผนึกต้องมีการควบคุมในเรื่องสุขลักษณะส่วนบุคคลเป็นอย่างดีและมิให้คนงานสัมผัสฝาส่วนที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์

2.6 โต๊ะหรือแท่นบรรจุ ที่เหมาะสมสำหรับขนาดบรรจุที่ต่างกัน หากเป็นโต๊ะสำหรับบรรจุขวดควรมีความสูงไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร ส่วนภาชนะที่เป็นถัง แท่นบรรจุควรสูงพอเหมาะเพื่อสะดวกในการขนส่ง เช่น ถังขนาดบรรจุ 20 ลิตร ให้สูงอย่างน้อย 8 นิ้ว เป็นต้น

นอกจากนี้ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงการออกแบบและการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ดังนี้

2.6.1 การออกแบบ

1) ผิวหน้าหรือส่วนต่าง ๆของเครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตที่สัมผัสกับน้ำที่กำลังผลิตน้ำที่บริโภคได้ต้องทำจากวัสดุที่ไม่ก่อให้เกิดสนิมหรือไม่เป็นพิษ ผิวหน้านั้นต้องถูกออกแบบให้สามารถทำความสะอาดและฆ่าเชื้อได้ง่าย

2) ท่อที่มีข้อต่อ วาล์วและน็อต ต้องออกแบบง่ายต่อการถอด เพื่อทำความสะอาดและฆ่าเชื้อและประกอบใหม่ ภายในท่อต้องไม่มีมุมหรือปลายตัน ซึ่งจะทำให้สิ่งสกปรกสะสมและยากต่อการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

3) ถังหรือบ่อพักน้ำในกระบวนการผลิต ต้องมีฝาปิดป้องกันการปนเปื้อน ซึ่งฝานั้นจะต้องมีการออกแบบและอยู่ในสภาพที่ดี ไม่เป็นที่สะสมของสิ่งสกปรก

4) อุปกรณ์การปรับปรุงคุณภาพสารกรอง ต้องมีการออกแบบและกำหนดคุณสมบัติที่มีประสิทธิภาพ เพื่อวัตถุประสงค์ในการกรองแต่ละขั้นตอนการผลิต

2.6.2 การติดตั้ง

มีการติดตั้งในเนื้อที่ที่เพียงพอและตำแหน่งที่เหมาะสมเป็นไปตามสายงานการผลิต ต้องง่ายต่อการปฏิบัติงานและทำความสะอาด นอกจากออกแบบและติดตั้งแล้ว ผู้ผลิตควรมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องและอุปกรณ์ต่าง ๆ สม่ำเสมอ เพื่อให้มั่นใจว่ายังมีสภาพการทำงานที่ให้ผลดีอยู่

2.6.3 การทำความสะอาด

เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตซึ่งรวมถึงภาชนะขนส่ง ต้องล้างทำความสะอาดด้วยน้ำที่สะอาด สารทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะพื้นผิวที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์โดยตรงต้องผ่านการฆ่าเชื้อด้วยสารที่มีความเข้มข้นและระยะเวลาที่สัมผัสเพียงพอ และเมื่อทำความสะอาดและฆ่าเชื้อแล้วต้องเก็บรักษาให้อยู่ในสถานที่เหมาะสม มีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนจนถึงเวลาใช้งาน และต้องมีการตรวจสอบความสะอาดก่อนใช้ด้วยการตรวจพินิจ การดูแลรักษาทำความสะอาดตลอดจนตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นการลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นลงด้วย นอกจากนี้ควรมีการตรวจสอบท่อส่งน้ำภายในและภายนอกอาคารอยู่เสมอ เพื่อหารอยรั่วซึ่งจะทำให้น้ำที่เข้าสู่โรงงานเกิดการปนเปื้อนโดยที่ไม่ทราบสาเหตุที่แท้จริง

3. แหล่งน้ำดิบ

แหล่งน้ำดิบ (Raw water) ที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทอาจใช้น้ำประปาหรือแหล่งน้ำตามธรรมชาติ ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น 3 แหล่งใหญ่ ๆ คือ (ดารณี หมู่ขจรพันธ์, 2534)

3.1 น้ำจากบรรยากาศได้แก่ น้ำฝน ซึ่งเกิดตามฤดูกาล และที่ตั้งตามภูมิศาสตร์ของชุมชนนั้น ๆ โดยทั่วไปน้ำฝนนับว่าเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติที่สะอาดที่สุด หากในชั้นบรรยากาศไม่มีสารมลพิษในอากาศ ความสะอาดของน้ำฝนยังขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พื้นที่รองรับน้ำฝน หลังคาที่พักอาศัย ภาชนะที่เก็บกักน้ำ เป็นต้น

3.2 น้ำผิวดิน เป็นส่วนหนึ่งของน้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นดินและไหลไปตามผิวดินสู่บริเวณที่ต่ำกว่า ได้แก่ ทะเลสาบ ลำคลอง แม่น้ำ หนอง บึง เป็นต้น น้ำประเภทนี้จะมีสิ่งอื่นปนเปื้อนมากกว่าแหล่งน้ำอื่น ๆ โดยเฉพาะแร่ธาตุ และจุลินทรีย์ที่ปะปนมาในปริมาณสูงตามสภาพพื้นที่ที่เป็น point source และ non - point source ถูกระบายลงสู่ทางน้ำ

3.3 น้ำใต้ดิน เป็นแหล่งน้ำที่มีการใช้มากในกิจกรรมทางอุตสาหกรรม โดยการขุดเจาะบ่อตื้นและบ่อบาดาลเพื่อสูบน้ำขึ้นมาใช้ คุณภาพของน้ำใต้ดินทางกายภาพและทางชีวภาพ

นับว่าดีพอใช้แต่อาจมีปัญหาคุณสมบัติทางเคมีเพราะมีแร่ธาตุต่าง ๆ เจือปน สาเหตุที่ทำให้น้ำใต้ดินมีการปนเปื้อนดังนี้ คือ

3.3.1 ถังเกรอะ และถังซึม หากบ่อตื้อหรือบ่อบาดาลอยู่ใกล้ถังเกรอะ หรือถังซึมก็อาจจะถูกปนเปื้อนจากจุลินทริย์ที่ก่อให้เกิดโรค ซึ่งสามารถจะอยู่รอดในดินได้นานเป็นเดือน เช่น เชื้อแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม โดยเฉพาะ *E. coli* เป็นต้น

3.3.2 กองขยะที่ใช้ถมที่ น้ำเสียที่เกิดจากกองขยะจะไหลซึมผ่านใต้ดินเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ได้

3.3.3 โรงงานอุตสาหกรรม มักจะมีการขุดบ่อเพื่อใช้เก็บกักน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมพบว่ามีน้ำเสียบางส่วนจะไหลซึมผ่านเข้าสู่แหล่งน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับตื้น ๆ และอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำเสียได้

น้ำบ่อหรือบ่อน้ำบาดาล ควรขุดเจาะให้ห่างจากแหล่งน้ำโสโครกและแหล่งสิ่งปฏิกูล ดังกล่าว 40 เมตรเป็นอย่างน้อย หากระยะใกล้กว่านั้นจะเพิ่มโอกาสปนเปื้อนจากเชื้อโรค หรือสิ่งปฏิกูลจากแหล่งน้ำสู่บ่อน้ำนั้น โดยเฉพาะน้ำบาดาลควรได้รับอนุญาตให้ขุดเจาะจากหน่วยราชการที่เกี่ยวข้อง และเพื่อความปลอดภัยและคุณภาพของน้ำที่จะผลิต ผู้ผลิตควรรู้คุณภาพเบื้องต้นของแหล่งน้ำที่นำมาผลิต เพื่อจะได้ทราบถึงคุณภาพน้ำที่อาจเปลี่ยนแปลงไป และเพื่อปรับเปลี่ยนวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้คุณภาพมาตรฐาน ควรดำเนินการในเรื่องเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำไปตรวจวิเคราะห์ทางกายภาพ และเคมีเป็นครั้งคราว แต่ไม่ควรน้อยกว่าปีละ 1 ครั้งเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำไปตรวจวิเคราะห์ทางชีวภาพ ได้แก่ ปริมาณ ฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ทำให้เกิดโรค เป็นต้น อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง วิธีการตรวจวิเคราะห์และผลที่ได้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากหน่วยงานของรัฐหรือภาคเอกชนที่หน่วยงานของรัฐรับรอง หรือหากผู้ผลิตมีห้องปฏิบัติการเองและสามารถตรวจวิเคราะห์เองได้ จะต้องแสดงวิธีการวิเคราะห์ และผลการตรวจวิเคราะห์ให้แก่พนักงานเจ้าหน้าที่ที่ทำการตรวจสอบโรงงาน ในกรณีที่เป็นน้ำประปาผู้ผลิตต้องมีการระมัดระวังมิให้มีการรั่วซึมของท่อประปา และห้ามมิให้มีการปั๊มน้ำโดยตรงจากท่อส่งน้ำสาธารณะ นอกจากนี้ควรมีการตรวจสอบปริมาณคลอรีนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำประปาที่ใช้ก่อนการผลิตทุกครั้ง หากไม่พบคลอรีนต้องมีการเติมตามความเหมาะสมต่อไป

4. กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

การปรับคุณภาพน้ำ หมายถึง วิธีการที่จะทำให้น้ำนั้นมีคุณภาพดีขึ้นจนเหมาะแก่การใช้ประโยชน์ตามที่ต้องการได้ ในปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพน้ำทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีก็มีความเหมาะสมแตกต่างกันไปแล้วแต่ขนาดความต้องการในด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำที่จะนำมาใช้ วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน พิชิต สกุลพราหมณ์ (2525) ได้อธิบายไวดังนี้

4.1 การต้ม (Boiling) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยมีจุดประสงค์สำคัญเพื่อทำลายเชื้อโรคที่ปะปนมากับน้ำให้หมดไปดังนั้นน้ำที่จะนำมาปรับปรุงจึงต้องเป็นน้ำที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม หรือได้มาตรฐานแล้วและต้องการเพียงให้ความร้อนมาเป็นตัวทำลายสมบัติด้านชีวภาพที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือสงสัยว่าไม่ปลอดภัยให้หมดไป ซึ่งการต้มน้ำเพื่อทำลายเชื้อโรคนั้นจะต้องใช้ความร้อนถึงอุณหภูมิน้ำเดือดและใช้เวลาปล่อยให้น้ำเดือดไม่น้อยกว่า 5 นาที ซึ่งในด้านต้มนี้จะต้องแน่ใจว่าน้ำนั้นใสสะอาดและปราศจากสารเคมีเจือปน เพราะการต้มไม่สามารถกำจัดสมบัติทางกายภาพ เคมี เจือปนได้

4.2 การกรอง (Filtration) การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยวิธีการกรองทำได้โดยนำน้ำที่ต้องการจะปรับปรุงคุณภาพมาผ่านชั้นของวัสดุที่เป็นตัวกรองโดยอาศัยวัสดุที่เป็นตัวกรองทำหน้าที่กั้นสิ่งสกปรกที่ติดมากับน้ำให้ติดค้างอยู่บนผิวหน้าของตัวกรอง น้ำที่ซึมผ่านตัวกรองออกมาก็จะมีคุณภาพดี ประสิทธิภาพของตัวกรองจะมีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดความหนาและการเรียงตัวของวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นตัวกรอง การกรองเป็นกรรมวิธีทางกายภาพซึ่งใช้กำจัดสารแขวนลอยต่าง ๆ ความขุ่นซึ่งมีขนาดโตกว่าช่องระหว่างผิวสัมผัสของวัสดุที่ใช้เป็นตัวกรอง ดังนั้นตะกอนและสารแขวนลอยก็จะติดค้างอยู่บนผิวหน้าของตัวกรอง นอกจากนี้การกรองยังช่วยสกัดกั้นเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้ด้วย จึงทำให้เกิดประโยชน์ในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำทางชีววิทยาอีกด้วย

4.3 การใช้สารเคมี (Chemical treatment) สารเคมีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้แก่

4.3.1 คลอรีน (Chlorine) เป็นสารเคมีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากเพราะราคาไม่แพง มีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีและรวดเร็ว ความเข้มข้นที่ใช้ไม่ต้องสูงมากนัก ทั้งยังสามารถระเหยได้ในอุณหภูมิห้อง เป็นแก๊สอันตรายและมีกลิ่น คลอรีนที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ คลอรีนแก๊สและคลอรีนผง

4.3.2 สารส้ม (Alum) เป็นสารประกอบทางเคมีที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่

- $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$ จะเป็นชนิดที่มีน้ำปนอยู่ในผลึกน้อย
- $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ จะเป็นชนิดที่มีน้ำปนอยู่ในผลึกมากกว่าชนิดแรก

เมื่อละลายสารส้มลงในน้ำแล้ว สารส้มจะเกิดปฏิกิริยาเคมี แตกตัวเป็นอนุมูล 2 ชนิด คือ อนุมูลที่มีประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ ทำให้สามารถยึดจับสิ่งสกปรกพวกคลอลอยด์ที่ปะปนอยู่ในน้ำ เกิดเป็นตะกอนรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและจมตัวลงสู่ก้นถัง น้ำนั้นก็จะมีความใสสะอาดขึ้น การใช้สารส้มในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อทำให้สมบัติทางด้านกายภาพของน้ำดีขึ้นโดยเฉพาะพวกตะกอน จะช่วยลดปริมาณของรส กลิ่น สี จุลินทรีย์ และสาหร่ายที่ปะปนอยู่ในน้ำด้วย จึงทำให้น้ำใสสะอาดขึ้น แต่สารส้มไม่ได้ออกฤทธิ์ทำลายเชื้อจุลินทรีย์เหมือนคลอรีน ดังนั้นน้ำที่เห็นใส ๆ นั้นเพื่อความปลอดภัยจึงต้องนำไปผ่านกรรมวิธีทำลายเชื้อจุลินทรีย์เสียก่อนจึงจะเป็นน้ำที่สามารถดื่มได้อย่างปลอดภัย

เกรียงไกร (2537) ได้บอกวิธีการฆ่าเชื้อโรค ในระบบผลิตประปาซึ่งโดยมากจะเป็นกระบวนการสุดท้ายภายหลังกระบวนการกรองน้ำ ซึ่งจะใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำใสที่ผ่านการกรองแล้ว สำหรับความหมายของการฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปานั้น ความหมายของ Disinfection และ Sterilization มีความแตกต่างกันคือ Disinfection เป็นการฆ่าจุลชีพทั้งหมดทั้งที่ก่อโรคและที่ไม่ก่อให้เกิดโรค สำหรับน้ำประปาไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการ Sterilization เพียงแต่ผ่านกระบวนการ Disinfection ก็เพียงพอแล้ว ซึ่งได้แนะนำเพิ่มเติมดังนี้

4.4 การเติมก๊าซโอโซน (O_3) ประกอบด้วยสามอะตอมของออกซิเจนแต่จะมีอยู่หนึ่งอะตอมที่ง่ายต่อการแตกตัวออกมา ทำให้ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรภาพแต่เป็นสาร Disinfectants ที่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคสูง ไม่ก่อให้เกิดกลิ่น หรือรสชาติ สำหรับข้อเสียของก๊าซโอโซนก็มีซึ่งได้แก่ ราคาค่าใช้จ่ายสูงกว่าคลอรีนและไม่มีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคที่หลงเหลืออยู่ในท่อประปาได้

4.5 การเติมด่างให้มีปริมาณมากเกินพอ การเติมด่าง (ปูนขาว) ลงไปในน้ำประปาจะทำให้ค่า pH สูงขึ้นซึ่งทำให้เชื้อโรคตายได้

4.6 วิธีเติมไอโอดีนและโบรมีน (Iodine and Bromine) สารฆ่าเชื้อโรคทั้งสองดังกล่าวเป็นสาร Disinfectants ที่ดีสารหนึ่ง สารนี้มักบรรจุไว้ในลักษณะคล้ายเม็ดยา ซึ่งนิยมใช้กับทหารที่กำลังรบในสนาม ข้อเสียของวิธีนี้คือ ทำให้น้ำมีกลิ่นและรสซึ่งจะไม่นิยมใช้

4.7 ใช้ Potassium permanganate ($KMnO_4$) การใช้สาร ($KMnO_4$) ในการฆ่าเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดโรคอหิวาตกโรคจะได้ผลดีมาก แต่ไม่สามารถฆ่าพวกแบคทีเรียอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีนี้นิยมใช้ในการฆ่าเชื้อโรคที่อยู่ในบ่อน้ำทั่วไปในชนบท สำหรับข้อเสียของวิธีนี้คือไม่สามารถฆ่าแบคทีเรียได้ทุกชนิด จะทำให้เกิดสีเกาะปนเปื้อนตามผิววัสดุทั่วไปซึ่งยากแก่การล้างออก

วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ (มั่นสิน ตัณฑุเวศม์, 2538) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหลักการและขั้นตอนดังนี้

1. การเติมอากาศ (Aeration) เป็นกระบวนการซึ่งทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศเพื่อลดความเข้มข้นของก๊าซและสารบางชนิดที่ระเหยได้ ซึ่งอยู่ในน้ำทั้งช่วยในการปรับคุณภาพของน้ำทางฟิสิกส์ และทางเคมีได้ทางหนึ่ง วิธีการของการเติมอากาศมีหลายอย่าง เช่น การทำให้น้ำเป็นแผ่นฟิล์มหรือทำเป็นน้ำตก การทำเป็นเครื่องกีดขวางให้น้ำไหลผ่าน การพ่นน้ำให้สัมผัสกับอากาศหรือพ่นอากาศเข้าไปในน้ำหรือการผสมผสานวิธีต่าง ๆ ที่กล่าวมาเข้าด้วยกัน

2. การรวมตัวของตะกอนด้วยสารเคมี (Coagulation) (Faust and M.Aly 1983) โดยการเติมสารเคมีบางชนิดลงในน้ำเพื่อให้สารที่มีอนุภาคเล็ก ๆ รวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่และมีน้ำหนัก ซึ่งง่ายต่อการกำจัดออกโดยการตกตะกอน (Sedimentation) หรือการกรอง (Filtration) ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium sulfate) อารัม (Alum) หรือ โซเดียมอะลูมิเนต (Sodium aluminate) Iron salt เช่น เฟอร์ริกซัลเฟต (Ferric sulfate)

เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) หรือ เฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate) และสารที่ช่วยในการตกตะกอน (Coagulant aids) เช่น ลามโซเดียมคาร์บอเนต (Lime Sodium carbonate)โซเดียมไฮโดรไซด์ (Sodium hydroxide) เป็นต้น

3. การตกตะกอนโดยวิธีธรรมชาติ (Plain Sedimentation) เพื่อลดปริมาณสารพวก Settle able material ในน้ำให้ตกลงสู่ก้นถังด้วยแรงดึงดูดของโลก โดยใช้ถังตกตะกอน ซึ่งมีหลายแบบเช่น Sedimentation tank หรือใช้ Clarifier

4. การกรอง (Filtration) เป็นวิธีที่สำคัญอย่างหนึ่งในการปรับสภาพของน้ำทั้งทางฟิสิกส์และทางจุลินทรีย์ โดยใช้สารกรอง หรือ อุปกรณ์ที่กรอง แบ่งเป็น

4.1 สารกรองกรวดทราย มักใช้กรองน้ำประปา หรือน้ำบาดาลเพื่อขจัดสิ่งเจือปนทางกายภาพ เช่น ตะกอน สารแขวนลอย ฯลฯ โดยจัดให้น้ำไหลผ่านถังกรองที่มีชั้นของกรวดทรายเรียงตามขนาดที่พอเหมาะภายในถัง ซึ่งเป็นการกรองก่อนที่จะเข้าขบวนการกรองอื่น ๆต่อไป เมื่อใช้เป็นเวลานานควรทำความสะอาดสารกรองโดยวิธี (Back wash) คือใช้แรงดันน้ำสะอาดฉีดอัดเข้าทางด้านล่างของถังกรองจากล่างขึ้นชั้นบนถัง สวนทางกับการไหลของน้ำที่ผ่านเครื่องปกติ แรงดันน้ำจะทำให้สารกรองเสียดสีกัน โดยมีน้ำเป็นตัวกลางพาสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ในสารกรองหลุดติดออกมากับน้ำได้

4.2 สารกรองผงถ่านกัมมันต์ เป็นผงถ่านบดละเอียดสีดำ ภายในมีรูพรุนคดเคี้ยวไปมาทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูง ผงถ่านนี้ผ่านกระบวนการอบความร้อนสูงเป็นพิเศษ มีคุณสมบัติในการดูดสี กลิ่น คลอรีน ก๊าซ และสิ่งเจือปนในน้ำไว้ในรูพรุน ผงถ่านอาจใช้ร่วมกับทรายหรือสารกรองอื่น ๆ เช่น เรซิน แอนทราไซด์ แมงกานีสแซนด์ เป็นต้น

การฆ่าเชื้อโดยใช้สารเคมี นิยมใช้คลอรีน (White, 1992) ซึ่งนอกจากมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำแล้ว ยังเร่งปฏิกิริยาในการตกตะกอนของสารเคมีบางชนิดที่อยู่ในน้ำด้วย ประเภทของคลอรีนที่นิยมใช้ ได้แก่ สารประกอบประเภทไฮโปคลอไรท์ ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ ในรูปของผงปูนคลอรีน ที่นิยมใช้คือ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ปริมาณคลอรีนที่ต้องเติมในน้ำจะพิจารณาได้จากการวัดปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำ (Residual chlorine) โดยประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคจะดีที่สุด เมื่อมีปริมาณคลอรีนที่คงเหลือเป็น 0.2-0.5 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และมีเวลาสัมผัสไม่น้อยกว่า 30 นาที นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของคลอรีนจะดีขึ้น ถ้ามีปริมาณสารอินทรีย์และสิ่งเจือปนบางชนิด ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่ไม่สูงนักและสภาวะความกรด-ด่าง (pH) ของน้ำไม่เกินกว่า 7.0

สำหรับน้ำที่มีคุณภาพเช่นเดียวกับน้ำประปา ปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อคือ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร ถ้าต้องการให้มีผลทั้งในการฆ่าเชื้อและในการตกตะกอนสารแขวนลอยและอื่น ๆ ในน้ำด้วย จะใช้คลอรีน 1-2 กรัมต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร การใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้ออาจทำให้เกิดปัญหาของกลิ่นคลอรีนที่ตกค้างจะแก้ปัญหาโดยทิ้งน้ำในถังพักไว้ 1-2 คืน หรือใช้ถังกรองคาร์บอนเพื่อดูดกลิ่นที่ตกค้างงออก

การฆ่าเชื้อโดยใช้คลอรีนในขั้นตอนนี้ถือเป็นจุดวิกฤตของกระบวนการผลิตน้ำ เพราะจะเป็นการป้องกันมิให้มีเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ปนเปื้อนเข้าสู่ระบบการปรับคุณภาพน้ำ จึงจำเป็นต้องตรวจสอบปริมาณคลอรีนที่คงเหลือทุกครั้ง และถ้าพบว่าไม่มีคลอรีนหลงเหลืออยู่จำเป็นต้องเติมให้ได้ตามปริมาณและเวลาที่กำหนด

5. การปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำ น้ำในแหล่งธรรมชาติจะพบว่าสภาวะความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 6.5 – 8.5 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานของน้ำบริโภคที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ในกรณีที่พบค่าสภาวะความเป็นกรด-ด่างไม่ได้มาตรฐานมีหลักในการปรับค่าสภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำดังนี้

5.1 กรณีมีสภาพเป็นกรด คือ มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6.5 อาจจะใช้ปูนขาว หินปูน โซดาแอช โซเดียมไบคาร์บอเนต แคลเซียมคาร์บอนเนต แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

5.2 กรณีที่น้ำมีสภาพเป็นด่าง คือ มีสภาวะความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 8.5 จะใช้กรดเป็นตัวปรับสภาพสภาวะความเป็นกรด-ด่าง เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือหรือกรดแก่อื่น ๆ

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเบื้องต้นดังกล่าวทั้งหมดจะเป็นระบบการผลิตน้ำประปาที่เป็นการผลิตน้ำปริมาณมากเพื่อแจกจ่ายในชุมชน หรือเป็นระบบในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่ใช้แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีวิธีการขั้นตอนค่อนข้างมากและซับซ้อน

6. การปรับคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพ เคมี และ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย

6.1 การกำจัดธาตุเหล็ก สารกรองที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่

6.1.1 สารกรองแมงกานีสแซนด์ ทำจากเม็ดทรายเคลือบด้วยแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) มีคุณสมบัติสามารถขจัดสนิมน้ำ ธาตุเหล็ก แมงกานีส ตะกั่ว กำมะถัน สังกะสีออกจากน้ำได้ลดหลั่นกันไป การบำรุงรักษาโดยใช้ด่างทับทิม หรือชื่อทางเคมีว่า โปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต (ปริมาณการใช้นั้นแนะนำว่าควรใช้สารนี้ 1 ช้อนชาต่อสารกรอง 50 ลิตร) ปัจจุบันมีสารแมงกานีสซีโอไลท์ที่พัฒนาขึ้น สามารถล้างและคืนคุณสมบัติได้โดยใช้น้ำสะอาด ทำให้สะดวกแก่ผู้ใช้ยิ่งขึ้น

6.1.2 สารกรองแอนทราไซด์ มีคุณสมบัติสามารถกรองสนิมเหล็กตะกอนความขุ่นได้ การบำรุงรักษาทำได้โดยใช้น้ำสะอาดล้างและคืนสภาพโดยวิธีการล้างย้อนคืน

6.2 การกำจัดสีและกลิ่นสารกรองที่ใช้คือ ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมือนกับชนิดที่ได้กล่าวมาในส่วนของการปรับสภาพน้ำ อย่างไรก็ตามควรเลือกใช้ผงถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเหมาะสมสำหรับการใช้งานในขั้นตอนนี้ สารกรองผงถ่านกัมมันต์ช่วยดูดสีกลิ่นและสารปนเปื้อนบางชนิดที่อยู่ในน้ำได้ โดยเฉพาะคลอรีนที่เติมในขั้นตอนการปรับสภาพน้ำ การบำรุงรักษาสารกรองชนิดนี้ สามารถดำเนินการด้วยวิธีเดียวกันกับสารกรองที่ใช้ในการปรับสภาพน้ำประเภทสารกรองกรวดทรายและสารกรองผงถ่านกัมมันต์

6.3 การลดความกระด้างเป็นที่ทราบกันดีว่าความกระด้างของน้ำมักเกิดจากการที่มีหินปูนละลายอยู่ โดยทั่วไปน้ำใต้ดินมีความกระด้างสูงกว่าน้ำผิวดิน ความกระด้างของน้ำคำนวณในรูป $CaCO_3$ (หินปูน) น้ำที่มีหินปูนมากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดเป็นน้ำที่มีความกระด้างสูง สารกรองที่ใช้ในการลดความกระด้าง ได้แก่ สารกรองเรซิ่น ซึ่งเป็นสารกรองสังเคราะห์ที่มีหลายชนิด ขึ้นกับคุณภาพน้ำเริ่มต้นและคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำที่ต้องการ สารกรองเรซิ่นมีรูปร่างกลมคล้ายลูกปัด โปร่งแสง มีสีเหลือง มีขนาดตั้งแต่ 0.3-1.2 มิลลิเมตร ขนาดที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ ได้แก่ 0.4-0.5 มิลลิเมตร สารกรองเรซิ่น ซึ่งมีคุณสมบัติในการดึงอนุมูลประจุบวกของแคลเซียมและแมกนีเซียม

7. การทำความสะอาดสารกรองเรซิ่นมี 2 ขั้นตอน ดังนี้

7.1 การล้างทำความสะอาดสารกรองโดยวิธีล้างย้อน ซึ่งสามารถดำเนินการโดยวิธีเดียวกับสารกรองทรายและผงถ่าน อย่างไรก็ตามควรใช้เวลาในการล้างย้อนที่นานกว่าสารกรองชนิดอื่นเนื่องจากมักมีการสะสมของโคลิฟอร์มแบคทีเรียบนสารกรองเรซิ่นได้มากกว่าสารกรองชนิดอื่น

7.2 การคืนสภาพสารกรองทำได้โดยใช้เกลือแกงหรือโซเดียมคลอไรด์ เกลือแกงที่ใช้ในการคืนสภาพต้องเป็นเกลือแกงที่สะอาดปราศจากสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น ฝุ่นละออง การคืนสภาพสารกรองกระทำเมื่อพบว่าประสิทธิภาพของการลดความกระด้างของสารกรองลดต่ำลง ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยใช้สารเคมี

ความเข้มข้นของน้ำเกลือที่ใช้ในการปรับสภาพ ต้องศึกษาจากผู้ที่จำหน่ายสารกรองเรซิ่นที่นิยมใช้คือ ความเข้มข้นร้อยละ 12-14 และเวลาที่ใช้แช่ทิ้งไว้ประมาณ 20-35 นาที หลังจากนั้นจะต้องมีการล้างเกลือออกให้หมด ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยการชิม หรือใช้การตรวจวัดโดยใช้ Hand refract meter

ผู้ผลิตสามารถทดสอบความกระด้างทั้งหมดของน้ำด้วยตนเองได้อย่างง่ายโดยใช้ชุดทดสอบความกระด้างที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุขเป็นผู้พัฒนาขึ้น มีวิธีการทดสอบที่ง่าย ให้ผลเร็ว และมีความแม่นยำสูง อ่านค่าความกระด้างได้ในช่วง 0-300 มิลลิกรัมต่อลิตร (กระทรวงสาธารณสุข, 2544)

7.3 การปรับคุณภาพทางด้านจุลินทรีย์ ที่นิยมใช้มี 2 รูปแบบ ได้แก่ การใช้ลำแสงอุลตราไวโอเลตและการใช้ก๊าซโอโซน อย่างไรก็ตามการใช้ลำแสงอุลตราไวโอเลตเป็นที่นิยมมากกว่าเพราะสามารถใช้ได้ง่ายและมีราคาถูก ทั้งนี้น้ำที่จะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโดยใช้ลำแสงอุลตราไวโอเลตจำเป็นต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม โดยมีความใสเพียงพอที่จะทำให้ลำแสงสามารถผ่านเข้าไปฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์การกรองเพิ่มขึ้นอีก 2 ชิ้น ได้แก่

1) ไส้กรองใยสังเคราะห์ ทำจากสารโพลีเมอร์ประเภทต่าง ๆ และมีขนาดของรูแตกต่างกันไปตั้งแต่ 5-50 ไมครอน ไส้กรองชนิดนี้ใช้กรองตะกอนหยาบที่ปนเปื้อนอยู่ใน

น้ำจึงเป็นการปรับปรุงคุณภาพทางด้านกายภาพของน้ำอีกด้วย น้ำที่ผ่านไส้กรองใยสังเคราะห์จะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับให้ไปผ่านการกรองในไส้กรองเซรามิคต่อไป

2) ไส้กรองเซรามิค เป็นไส้กรองที่ทำจากวัสดุจำพวกเซรามิคมีขนาดของรูพรุนละเอียด ตั้งแต่ 0.3-1.0 ไมครอน น้ำที่ผ่านเข้าไส้กรองนี้ไม่ควรมีตะกอนขนาดใหญ่เพราะจะทำให้ไส้กรองอุดตันเร็ว ไส้กรองชนิดนี้สามารถกรองตะกอนเล็กและจุลินทรีย์บางชนิดได้ จึงเป็นการปรับคุณภาพทางด้านกายภาพและจุลินทรีย์ประกอบกันไป นอกจากนี้เป็นการเตรียมน้ำขั้นสุดท้ายก่อนการฆ่าเชื้อด้วยลำแสงอุลตราไวโอเลต

ไส้กรองทั้ง 2 ชนิด ต้องมีการดูแลรักษาอย่างสม่ำเสมออย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง หรือเมื่อมีการหยุดงานนานกว่า 1 วัน โดยไส้กรองใยสังเคราะห์หลังจากนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วควรผึ่งให้แห้งและแช่ในสารละลายคลอรีนที่ความเข้มข้นประมาณ 100 ส่วนในล้านส่วน เป็นเวลา 20 นาที ก่อนนำมาใช้งาน ส่วนไส้กรองเซรามิคควรนำมาขัดผิวด้วยแปรงอ่อนหรือฟองน้ำแล้วนำไปผึ่งให้แห้งก่อนนำมาใช้งานควรมีการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการเดียวกับไส้กรองใยสังเคราะห์

ส่วนการใช้แสงอุลตราไวโอเลต (UV light) กระทำโดยให้น้ำไหลผ่านหลอดไฟที่มีลำแสงอุลตราไวโอเลต หลอดดังกล่าวเป็นหลอดแก้วใสที่ทำด้วยควอทซ์หรือ High silica glass ลักษณะคล้ายหลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถผลิตลำแสงที่มีช่วงคลื่นที่ทำลายจุลินทรีย์ได้ ปกติผู้ขายจะจัดทำเป็นหน่วยสำรับฆ่าเชื้อในรูปทรงกระบอกที่บรรจุหลอดไฟดังกล่าวไว้ภายใน โดยให้น้ำไหลผ่านระบบลำแสงอุลตราไวโอเลตที่มีช่วงความยาวคลื่นที่สามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยตรง ประมาณ 2,537 อังสตรอม ลำแสงในขนาดความเข้มที่พอเหมาะจะต้องตกกระทบบนจุลินทรีย์โดยตรง ในช่วงเวลาสัมผัสที่เหมาะสม ลำแสงนี้จะทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในเซลล์ และจะทำให้จุลินทรีย์ตายในที่สุด ควรใช้ระบบนี้ภายหลังการฆ่าเชื้อโดยวิธีอื่น ๆ และก่อนบรรจุ ในการใช้ควรอุ่นหลอดก่อนใช้อย่างน้อย 2 นาที และควรตรวจสอบอยู่เสมอว่าหลอดยังอยู่ในสภาพดีตลอดเวลาใช้งาน

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ลำแสงอุลตราไวโอเลตมีการฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ น้ำต้องมีการไหลที่เหมาะสมเพื่อให้มีช่วงเวลาที่โดนลำแสงนานพอสมควร นอกจากนี้น้ำที่ผ่านลำแสงต้องมีความใสเพียงพอ

หลอดอุลตราไวโอเลตมีอายุการใช้งาน ผู้ผลิตจึงควรสอบถามอายุการใช้งานจากบริษัทผู้จำหน่ายหลอด รวมทั้งมีการจดบันทึกชั่วโมงการทำงานของหลอดอุลตราไวโอเลต และก่อนเริ่มปฏิบัติงานควรมีการทำความสะอาดหลอดด้วยวิธีที่เหมาะสม

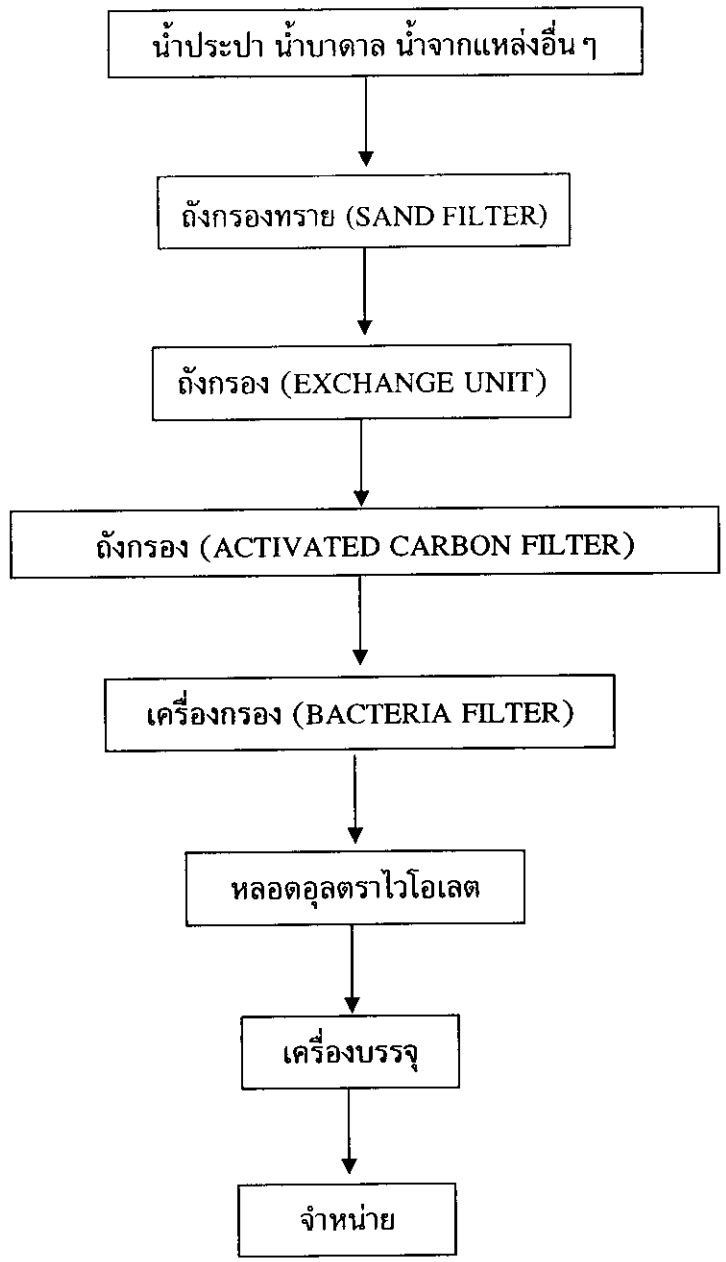
การศึกษาการใช้รังสีอุลตราไวโอเลตฆ่าเชื้อโรคในน้ำบริโภค (จิราพร สมนาวรรณ, 2530) โดยการวิเคราะห์หาปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียด้วยวิธี Multiple Tube Fermentation Technique ในน้ำตัวอย่างที่เก็บจากบ่อตื้นในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคจะเพิ่ม เมื่อเวลาที่น้ำสัมผัสกับแสงมากขึ้น โดยมี

ประสิทธิภาพสูงสุด = 99.17% ที่เวลาสัมผัสแสง 60 นาที ซึ่งก็คือที่ UV dose = $1.642^{\cdot}10$ ไมโครวัตต์-วินาที/ตารางเซนติเมตร อย่างไรก็ตามน้ำบ่อที่ผลิตได้มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานน้ำบริโภคของกระทรวงสาธารณสุขดังนั้นจึงไม่ปลอดภัยที่จะนำมาบริโภค แสดงให้เห็นว่าการผ่านลำแสงอุลตราไวโอเลตควรจะเป็นขั้นตอนสุดท้ายภายหลังการปรับคุณภาพมาก่อนและเป็นน้ำที่ใสปราศจากอนุภาคใดๆ ที่จะบดบังลำแสง

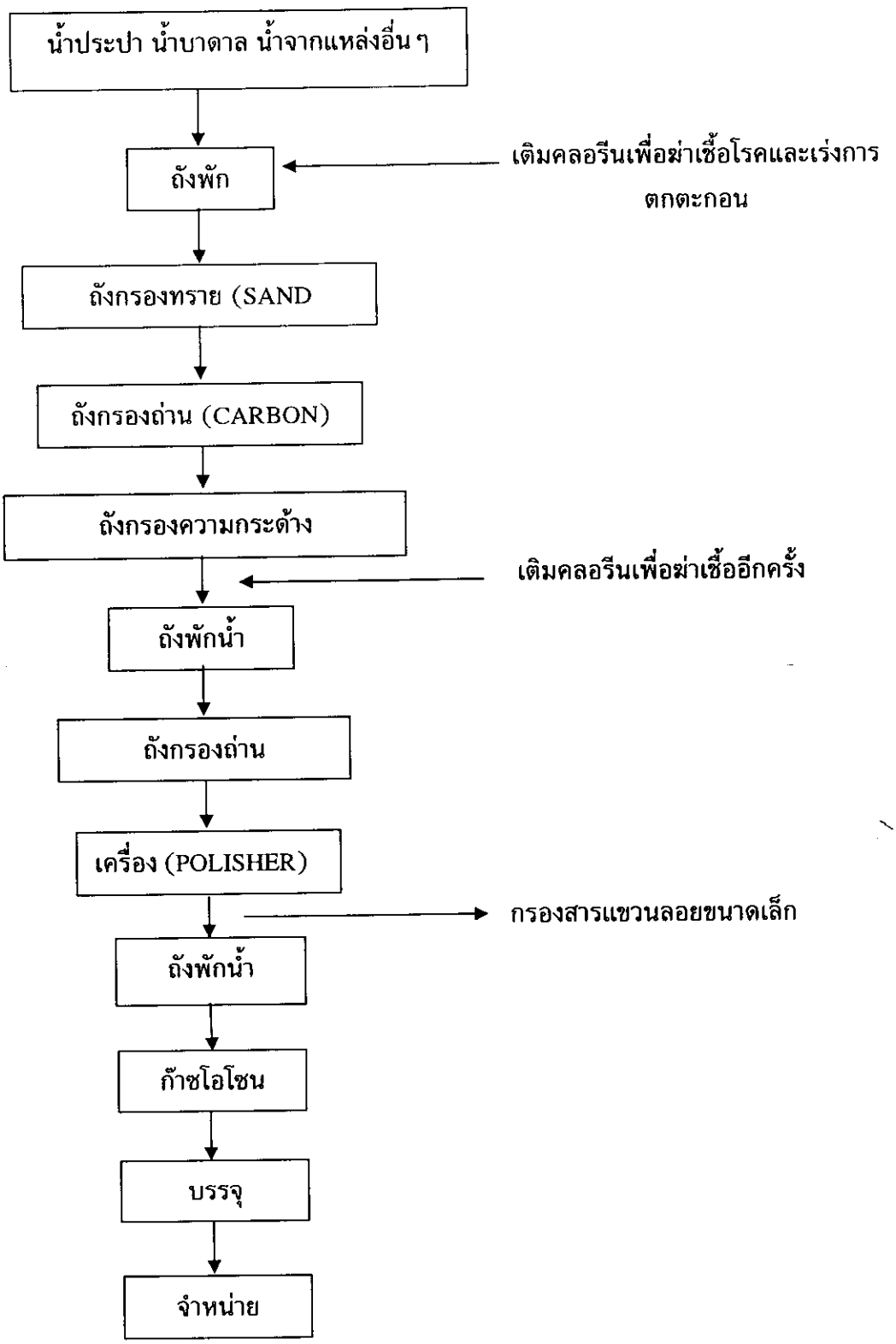
การปรับคุณภาพน้ำทางด้านจุลินทรีย์โดยใช้ก๊าซโอโซน สามารถทำได้โดยกระแสไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ 15,000-20,000 โวลต์ ทำปฏิกิริยากับอากาศที่แห้งแล้วจึงพ่นลงในน้ำปริมาณก๊าซโอโซนที่เหลืออยู่ที่จะมีผลในการทำลายแบคทีเรียและไวรัส ได้แก่ 0.2-0.4 ส่วนในล้านส่วน ระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 5 นาที

นอกจากนี้ยังมีการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วยวิธีการอื่นๆ อาทิเช่น การใช้สารเคมี การใช้พลังแสงอาทิตย์และการพาสเจอร์ไรส์ เป็นต้น

โดยสรุปแล้วกระบวนการต่างๆ ในการปรับคุณภาพน้ำดิบเพื่อนำมาใช้บริโภคอาจแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมและคุณภาพของน้ำดิบเป็นสำคัญ ดังนั้นผู้ผลิตควรมีการเก็บตัวอย่างน้ำดิบส่งวิเคราะห์ก่อนเพื่อจะได้ทราบคุณภาพของน้ำดิบ และนำไปกำหนดขั้นตอนและอุปกรณ์ที่เหมาะสมซึ่งอาจมีสายงานการผลิตดังภาพต่อไปนี้ (ศิริภรณ์ เจียรพสุอนันต์, 2535)



ภาพที่ 2 รูปแบบกระบวนการมาตรฐานการปรับคุณภาพน้ำขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มในอุตสาหกรรมครัวเรือน



ภาพที่ 3 รูปแบบกระบวนการมาตรฐานการปรับคุณภาพน้ำขั้นตอนการผลิตน้ำดื่มในโรงงานอุตสาหกรรม

5. ภาชนะบรรจุ

5.1 ภาชนะบรรจุและฝาปิดต้องทำจากวัสดุที่ไม่เป็นพิษ

5.2 ภาชนะบรรจุชนิดใช้เพียงครั้งเดียว ต้องมีการตรวจสอบสภาพเบื้องต้นไม่มีตำหนิ อยู่ในหีบห่อที่สะอาด ป้องกันฝุ่นผง และมีการจัดเก็บบนชั้นหรือยกพื้นป้องกันสัตว์แทะและก่อนนำมาใช้บรรจุต้องล้างกลั้วด้วยน้ำที่ผ่านการปรับคุณภาพก่อนบรรจุ

5.3 ภาชนะบรรจุชนิดใช้ได้หลายครั้งอย่างน้อยต้องดำเนินการดังนี้

5.3.1 ก่อนล้างต้องมีบริเวณเก็บ แยกเป็นสัดส่วน มีการคัดแยกภาชนะที่สกปรกมาก ๆ หรือที่แตกชำรุดออกเป็นสัดส่วนเพื่อไปดำเนินการพิเศษและมีการตรวจสอบสภาพฉลากหากไม่ถูกต้องทำการคัดแยก โดยเฉพาะไม่ควรใช้ภาชนะบรรจุที่มีฉลากของผู้อื่นทำการบรรจุ ซึ่งจะมีความผิดตามกฎหมาย

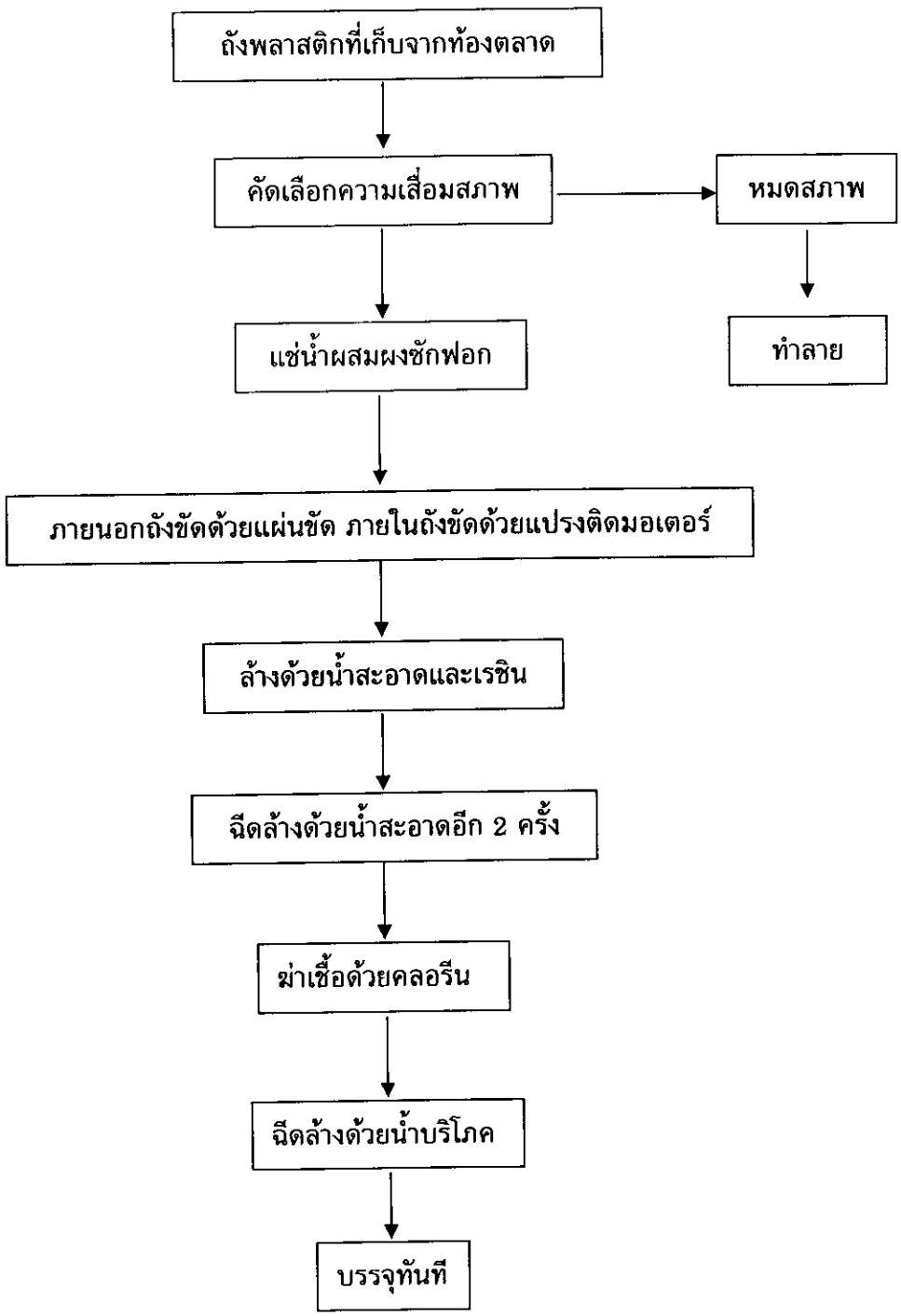
5.3.2 ต้องทำความสะอาดพื้นผิวด้านนอกด้วยน้ำมันทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ และ ล้างฆ่าเชื้อพื้นผิวด้านในที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องล้างสารฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพ

โดยทั่วไปผู้ผลิตและผู้จำหน่ายน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ใช้ภาชนะบรรจุอยู่ 2 ชนิดคือ ภาชนะบรรจุใช้ครั้งเดียวและภาชนะบรรจุที่นำกลับมาใช้ซ้ำ ซึ่งพบบ่อยในขนาดบรรจุ 20 ลิตร โดยจะมีการใช้หมุนเวียนในท้องตลาดจนกว่าจะชำรุด ดังนั้นโอกาสที่จะพบการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในภาชนะบรรจุที่นำกลับมาใช้ซ้ำจึงมีมากกว่าภาชนะบรรจุใช้ครั้งเดียว จากการศึกษาสัดส่วนการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ค่า MPN ≥2.2 ต่อน้ำบริโภค 100 มิลลิลิตร (อุไรวรรณ์ ฮวบเจริญ, 2535) ในภาชนะบรรจุชนิดใช้ซ้ำแตกต่างจากการปนเปื้อนในภาชนะบรรจุชนิดใช้ครั้งเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยความเชื่อมั่น 95% (โดยมีโอกาสปนเปื้อนเป็น 1.31-7.02 เท่าของภาชนะบรรจุชนิดใช้ครั้งเดียว) และชนิดของภาชนะบรรจุมีความสัมพันธ์กับการปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ค่า MPN≥2.2 ต่อน้ำบริโภค 100 มิลลิลิตร ดังนั้นวิธีการล้างภาชนะบรรจุชนิดใช้ซ้ำจึงควรแตกต่างจากการล้างภาชนะบรรจุที่ใช้ครั้งเดียว

จากการสำรวจสถานประกอบการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิททั่วประเทศ (สุวิมล กีรติพูบูลย์, 2543) ระหว่างเดือน เมษายน 2543 - สิงหาคม 2543 พบว่าอุปกรณ์การล้างทำความสะอาดภาชนะบรรจุส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพไม่ดี เช่น ไม่สามารถล้างบริเวณขอบถังด้านล่างและไหล่ถังใกล้ปากถังได้

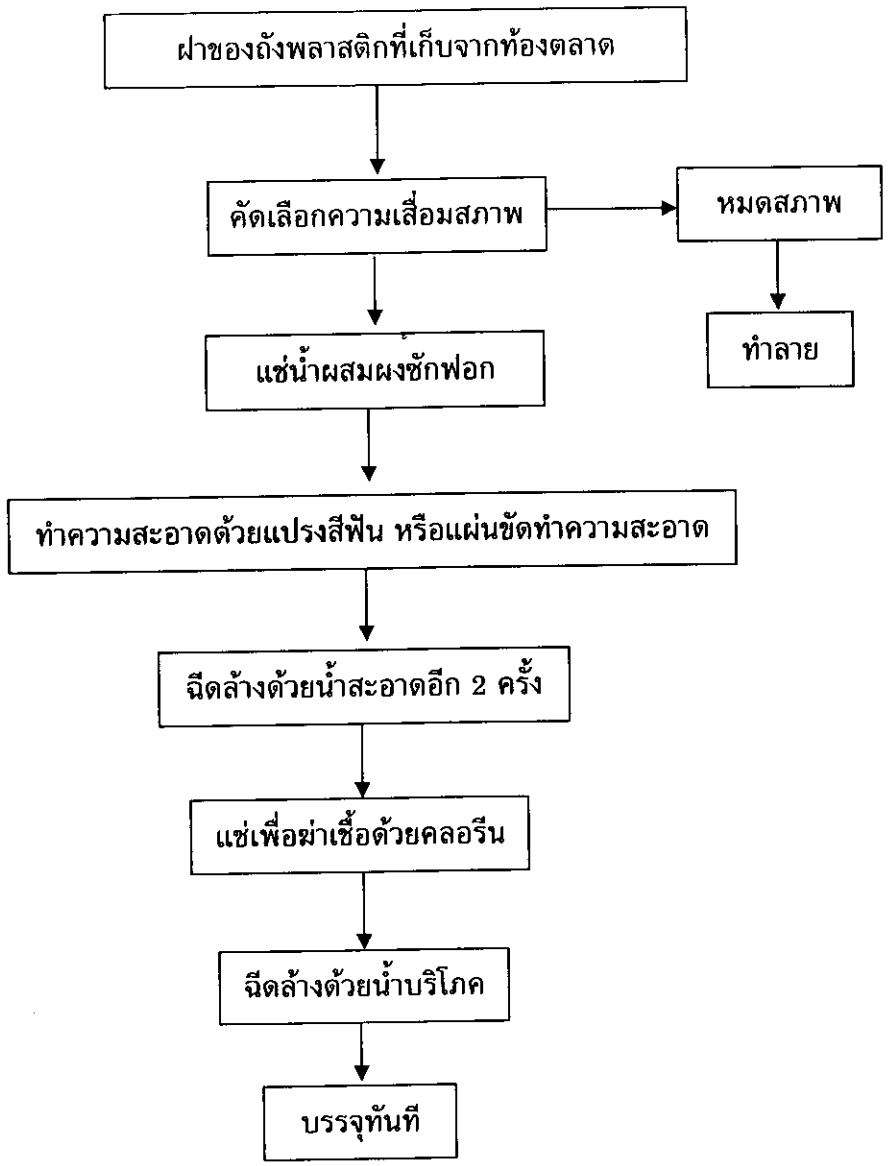
การล้างภาชนะบรรจุเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตมักมองข้ามและอาดก่อให้เกิดการปนเปื้อน (กัลยาณี ดีประเสริฐวงศ์, 2543) โดยเฉพาะทางด้านโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ดังนั้นหลักการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพจะต้องคำนึงถึงชนิดและปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับภาชนะบรรจุในแต่ละกรณี เช่น ทำการคัดแยกระหว่างถังสกปรกมากกับถังสกปรกน้อย โดยการใช้ดูภายในและภายนอกด้วยน้ำยาล้างจาน ควรเลือกใช้ชนิดที่มีฟองน้อยเพื่อจะได้เห็นสิ่งสกปรกได้ชัดเจนและไม่สิ้นเปลืองน้ำที่ใช้ล้างออก ฉีดน้ำทำความสะอาดทั้งภายในและภายนอกแล้วจึงทำการ

ฉีดล้างภายในด้วยน้ำผสมเรซิ่นนาน 30 นาที ปล่อยให้เกิดการหมุนเวียนและฉีดล้างด้วยน้ำธรรมดาอีก 30 วินาที เพื่อกำจัดเรซิ่นที่ตกค้าง นำมาล้างกลั้วด้วยน้ำที่ทำการบรรจุแล้วจึงนำไปบรรจุ และหากสกปรกมากเกินไปควรจะทำการล้างโดยวิธีเฉพาะจนสิ่งสกปรกหลุดออก แล้วจึงนำมาล้างในกระบวนการปกติสำหรับถังใช้ซ้ำต่อไป ถังที่มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนมาก ถังที่มีไขมันหรือคราบโปรตีน เช่น น้ำปลา ถังมีตะไคร่ ต้องล้างโดยวิธีพิเศษ เช่น อาจใช้โซดาไฟหรือคลอรีนเข้มข้น เป็นต้น ก่อนที่จะนำไปล้างในกระบวนการปกติสำหรับการล้างถังปกติต่อไป และล้างภาชนะบรรจุควรทำอย่างพิถีพิถันและควรนำไปบรรจุน้ำทันทีเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของโคลิฟอร์มแบคทีเรียจากสภาพแวดล้อมระหว่างการเก็บรักษาได้ สำหรับขั้นตอนการล้างภาชนะบรรจุน้ำบริโภคขนาด 20 ลิตร แบบใช้ซ้ำที่ดี มีขั้นตอนแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4 (กระทรวงสาธารณสุข, 2538)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการล้างภาชนะบรรจุน้ำบริโภคขนาด 20 ลิตรแบบใช้ซ้ำ

5.3.3 การจัดการเกี่ยวกับฝาถัง การล้างฝาโดยใช้กระบวนการแบบปกติ คือการล้างด้วยน้ำที่ผ่านการปรับคุณภาพแล้วนำไปแช่ไว้ในน้ำดังกล่าวเพื่อรอปิดผนึก ยกเว้นฝาถังขนาด 20 ลิตร ต้องผ่านขั้นตอนการล้างก่อนเพราะเป็นฝาที่หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ มีขั้นตอนแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 5 (กระทรวงสาธารณสุข, 2538)



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการล้างฝาที่ใช้กับถังพลาสติกบรรจุน้ำบริโภคขนาด 20 ลิตร

5.3.4 ต้องตรวจสอบปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียของภาชนะบรรจุสม่ำเสมอเพื่อยืนยันถึงการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อที่มีประสิทธิภาพ

5.3.5 ภาชนะบรรจุและฝาที่ล้างแล้วต้องกลั้วด้วยน้ำที่สะอาดซึ่งเป็นน้ำที่ทำการบรรจุ และรีบนำไปบรรจุและปิดฝาทันที หากไม่สามารถทำได้ก็ต้องมีวิธีการเก็บรักษาภาชนะที่ทำความสะอาดแล้วอย่างเหมาะสม มีมาตรการป้องกันการปนเปื้อนจนถึงเวลาใช้งาน และมีการตรวจสอบสภาพความสะอาดก่อนใช้บรรจุ หากมีตำหนิหรือไม่สะอาดต้องคัดแยกนำไปผ่านกรรมวิธีการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อใหม่

5.3.6 การลำเลียงขนส่งภาชนะบรรจุที่ทำความสะอาดแล้วต้องไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อนอีก ภาชนะบรรจุน้ำบริโภคส่วนใหญ่จะมีการจัดทำฉลากไว้ที่ข้างขวดหรือถัง ซึ่งการแสดงฉลากของน้ำบริโภค ให้ปฏิบัติตามข้อตกลงของกระทรวงสาธารณสุขของ ส ป ป ลาว ฉบับที่ 1 เลขที่ 125 (พ.ศ. 2535) ว่าด้วยผลิตภัณฑ์น้ำดื่มบริสุทธิ์ และแก้ไขเพิ่มเติมตามข้อตกลงกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 2 เลขที่ 505 ลงวันที่ 12 พฤษภาคม (พ.ศ. 2549) (ภาคผนวก ณ) ว่าด้วยเรื่องน้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิด ได้แก่

1) ชื่ออาหาร เช่น น้ำดื่ม น้ำบริโภคหรือชื่ออาหารทางการค้า โดยมีคำว่า “น้ำบริโภค” กำกับอยู่

2) เลขทะเบียนตำหรับอาหาร หรือเลขอนุญาตใช้ฉลากอาหารแล้วแต่กรณี โดยแสดงตามแบบของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

3) ชื่อและที่ตั้งของผู้ผลิต หรือผู้แบ่งบรรจุเพื่อจำหน่ายในกรณีอาหารที่ผลิตในประเทศอาจแสดงสำนักงานใหญ่ได้ ถ้าเป็นอาหารนำเข้าก็แสดงชื่อประเทศของผู้ผลิตด้วย

4) ปริมาตรสุทธิของอาหารเป็นระบบเมตริก เช่น ปริมาตรสุทธิ 750 มิลลิลิตร หรือ ปริมาตรสุทธิ 1 ลิตร เป็นต้น

6. สารทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ

สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ เครื่องจักร อุปกรณ์การผลิต รวมทั้งภาชนะบรรจุต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับความเข้มข้นและระยะเวลาที่สารนั้นสัมผัส การใช้สารเคมีในการฆ่าเชื้อมักใช้คลอรีน (Available chlorine) ที่มีความเข้มข้น 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เวลาสัมผัสนาน 2 นาที และสารเคมีเหล่านี้ต้องกำจัดออกจากผิวหน้าของเครื่องจักร อุปกรณ์ หรือภาชนะบรรจุโดยการล้าง และการล้างครั้งสุดท้ายต้องใช้น้ำที่ใช้ในการผลิต นอกจากการใช้สารเคมีแล้วปัจจุบันนี้มีวิธีการฆ่าเชื้อโดยใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนหรือสารละลายโอโซน ซึ่งต้องปฏิบัติดังนี้

หากใช้ไอน้ำหรือน้ำร้อนในระบบปิด ต้องกำหนดอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 77 องศาเซลเซียส ระยะเวลาไม่น้อยกว่า 15 นาที หรือ อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 93 องศาเซลเซียส ระยะเวลาสัมผัสอย่างน้อย 5 นาที

การฆ่าเชื้อโดยวิธีอื่นต้องมีระบบในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เทียบเท่าดังที่กล่าวแล้วข้างต้น ผู้ผลิตควรมีมาตรการตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างภาชนะบรรจุด้วยสารเคมีและสารฆ่าเชื้อโดยการสุ่มภาชนะบรรจุและฝาอย่างละ 4 หน่วยเป็นอย่างน้อย ส่งวิเคราะห์หน่วยงานราชการหรือเอกชนที่เป็นที่ยอมรับ หรือหากผู้ผลิตสามารถวิเคราะห์เองก็สามารถกระทำได้ โดยตรวจสอบปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียอย่างน้อยปีละ 1 ครั้งหรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการล้างหรือสารเคมีหรือสารฆ่าเชื้อที่ใช้ ซึ่งการตรวจสอบอาจใช้วิธีสอวบเทสต์ (Swab test) หรือ รินส์เทสต์ (rinse test) ผลการตรวจสอบต้องปรากฏว่าไม่เกิน 1 หน่วยในจำนวน 4 หน่วยของตัวอย่างที่สุ่มจะมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียได้ไม่เกิน 1 โคโลนี/พื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร (โดยวิธี swab test) หรือต้องไม่เกิน 1 โคโลนี/ปริมาตร 1 มิลลิลิตร (โดยวิธี rinse test) แต่ทุกตัวอย่างต้องปราศจากจุลินทรีย์ ที่ทำให้เกิดโรคและปราศจากแบคทีเรียชนิดโคลิฟอร์ม หรือผู้ผลิตสามารถทดสอบได้ด้วยตนเองโดยใช้ชุดทดสอบความสะอาดภาชนะของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งเป็นชุดทดสอบอย่างง่ายโดยไม่ต้องใช้ห้องปฏิบัติการ

ชุดทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรียในน้ำดังกล่าว ถูกพัฒนาขึ้นให้สามารถใช้ภายนอกห้องปฏิบัติการได้ มีวิธีใช้ง่าย สะดวก และทราบผลภายใน 24 ชั่วโมง เป็นการทดสอบเบื้องต้นว่าน้ำตัวอย่างนั้นมีโคลิฟอร์มแบคทีเรียเกินมารคฐานหรือไม่ เพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดโรคอาหารเป็นพิษ

7. การควบคุมคุณภาพมาตรฐาน

คุณภาพมาตรฐานของน้ำบริโภคที่เป็นปัญหาและพบบ่อยครั้งคือ คุณสมบัติเกี่ยวกับจุลินทรีย์ เช่น ตรวจพบแบคทีเรียชนิด E. coli หรือพบเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ซึ่งเป็นปัญหาต่อสุขภาพของผู้บริโภคและเป็นเครื่องชี้วัดว่าผู้ผลิตขาดความละมัดระวังในเรื่องสุขาภิบาลและสุขอนามัย

ผู้ผลิตต้องเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์รวมทั้งภาชนะบรรจุส่งตรวจวิเคราะห์ ทั้งทางด้านจุลินทรีย์ เคมี และฟิสิกส์ เพื่อตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ และประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อดังนี้

7.1 ด้านโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ควรสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์และภาชนะบรรจุด้วยวิธีที่เหมาะสมในจำนวนพอเพียงที่จะเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในแต่ละรุ่นการผลิต อย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง

7.2 ด้านเคมีและฟิสิกส์ ต้องตรวจวิเคราะห์โดยวิธีสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเหมาะสมในจำนวนพอเพียงที่จะเป็นตัวแทนของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดในแต่ละรุ่นการผลิต อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง วิธีการวิเคราะห์ต้องได้รับความเห็นชอบจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ผู้ผลิตต้องเก็บรักษาบันทึกการตรวจวิเคราะห์ที่ระบุวันที่เก็บตัวอย่าง ชนิดของตัวอย่าง รหัสแสดงรุ่นการผลิต (ถ้ามี) และผลการวิเคราะห์ไว้ แต่อย่างไรก็ตามผู้ผลิตสามารถจัดหาอุปกรณ์วิเคราะห์อย่างง่ายที่จะช่วยตรวจสอบ

คุณภาพเพื่อทราบและสามารถปรับปรุงระบบได้ทันท่วงที เช่น เครื่องทดสอบความเป็นกรด-ด่างอย่างง่าย เครื่องทดสอบคลอรีน น้ำยาทดสอบความกระด้าง และน้ำยาทดสอบโคลิฟอร์มแบคทีเรียเบื้องต้น

8. การบรรจุและปิดผนึก

การบรรจุและปิดผนึกเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิต การบรรจุน้ำบริโภคอย่างมีระบบจะต้องปฏิบัติ ดังนี้

8.1 ในกรณีที่จำเป็น ต้องมีถังเก็บน้ำก่อนบรรจุ จะต้องติดตั้งเครื่องกรองจุลินทรีย์เพิ่มเติมหรือติดตั้งหลอด UV เพื่อฆ่าเชื้อในน้ำที่ออกมาจากถังพักไปยังห้องบรรจุ

8.2 ต้องบรรจุในห้องบรรจุที่มีการป้องกันการปนเปื้อน

8.3 ต้องบรรจุด้วยเครื่องบรรจุ หรือ อุปกรณ์การบรรจุที่มีประสิทธิภาพ และสะอาด

8.4 ต้องบรรจุจากหัวบรรจุโดยตรง ไม่ให้ใช้สายยางในการบรรจุไม่ว่าขนาดบรรจุใดก็ตาม (อุไรวรรณ ฮวบเจริญ, 2535) และไม่บรรจุกับพื้นโดยตรงเนื่องจากทั้ง 2 กรณีได้มีการพิสูจน์แล้วว่าเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรีย และเชื้อ *E. coli* ได้ ดังนั้นควรมีแท่นหรือยกพื้นให้พอดีกับขนาดภาชนะบรรจุนั้นๆ

8.5 มือผู้ปฏิบัติงานต้องไม่สัมผัสกับปากขวดขณะทำการบรรจุ และปิดผนึก

8.6 ต้องตรวจพินิจภาชนะบรรจุหลังการบรรจุและปิดผนึกอีกครั้งว่าเรียบร้อยหรือไม่มีตำหนิ และมีฉลากถูกต้องสมบูรณ์

9. การสุขาภิบาล

หมายถึง วิธีการที่ใช้ในการจัดการกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพื่อเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมที่ดีให้คงอยู่ หรือ ควบคุม หรือ ปรับปรุงให้เหมาะสม หรือ เป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันโรคภัยไข้เจ็บและเพื่อให้มีสุขภาพอนามัยดี เชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดที่พบในน้ำบริโภคส่วนหนึ่งเกิดจากโรงงานมีการสุขาภิบาลที่ไม่ดี ดังนั้นควรมีการระมัดระวังในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

9.1 ต้องทำความสะอาดผนัง พื้นอาคารการผลิตสม่ำเสมอ โดยเฉพาะห้องบรรจุต้องมีการล้างและฆ่าเชื้อพื้นด้วยสารเคมีก่อนและหลังการปฏิบัติงานทุกครั้ง

9.2 ต้องมีภาชนะที่มีฝาปิดรองรับมูลฝอยในจำนวนที่พอเพียงและมีวิธีแยกกำจัดที่เหมาะสมและถูกสุขลักษณะ

9.3 น้ำที่ใช้ภายในอาคารผลิตต้องสะอาด มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำตามความจำเป็นในการใช้และมีปริมาณเพียงพอ

9.4 ทางระบายน้ำภายในอาคารโรงงานจะต้องมีความลาดเอียงให้น้ำไหลได้สะดวก เรียบ และทำความสะอาดง่าย หากจำเป็นต้องมีฝาปิดให้เป็นแบบตะแกงโปร่งมองเห็นพื้นรางระบายน้ำได้ ทางระบายน้ำภายในอาคารโรงงานมีขนาดกว้างไม้น้อยกว่า 10 เซนติเมตร ก่อนระบายน้ำลงสู่ทางระบายน้ำสาธารณะมีบ่อพักน้ำและตะแกงดักมูลฝอยอยู่ในที่ที่สามารถตรวจสอบได้สะดวกเพื่อไม่ให้เกิดการอุดตัน

9.5 ต้องมีห้องส้วมและอ่างล้างมือหน้าห้องส้วมเพียงพอสำหรับผู้ปฏิบัติงานหากมีทั้งชายและหญิงจะต้องจัดห้องส้วมแยกให้เป็นสัดส่วนและถูกสุขลักษณะ มีอุปกรณ์ในการล้างมืออย่างคบถ้วน เช่น สบู่หรือยาฆ่าเชื้อ ผ้าที่สะอาดหรือกระดาษที่ใช้แล้วทิ้ง เป็นต้น ซึ่งต้องถูกสุขลักษณะและมีประสิทธิภาพใช้งานได้ สัดส่วนจำนวนห้องน้ำ-ห้องส้วม-อ่างล้างมือต่อคนงานเป็นไปตามเกณฑ์ (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 จำนวนห้องน้ำ-ห้องส้วม-อ่างล้างมือต่อคนงาน

จำนวนคนงาน	ส้วม	ปัสสาวะชาย	อ่างล้างมือ
ไม่เกิน 15 คน	1	1	1
ไม่เกิน 40 คน	2	2	2
ไม่เกิน 80 คน	3	3	3

ที่มา : กระทรวงสาธารณสุข, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, คู่มือแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, 2544)

คนงานตั้งแต่ 80 คนขึ้นไปจะต้องเพิ่มที่ปัสสาวะชายและอ่างล้างมืออีกอย่างละ 1 ที่ ต่อคนงานที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 50 คน นอกจากนี้ต้องมีอ่างล้างมือและสบู่ภายในบริเวณที่ทำการผลิตให้เพียงพอกับจำนวนคนงาน (ดังตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 จำนวนห้องน้ำ-ห้องส้วม-อ่างล้างมือต่อคนงานภายในบริเวณที่ทำการผลิต

จำนวนคนงาน	อ่างล้างมือ
ไม่เกิน 15 คน	1
ไม่เกิน 40 คน	2
ไม่เกิน 80 คน	3

ที่มา : กระทรวงสาธารณสุข, สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, คู่มือแนวทางการปฏิบัติเพื่อให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์วิธีการที่ดีในการผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท (กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์องค์การทหารผ่านศึก, 2544)

9.6 ต้องมีอ่างล้างมือตามบริเวณผลิตให้เพียงพอโดยเฉพาะหน้าห้องบรรจุและมีอุปกรณ์ในการล้างมือครบถ้วน ถูกสุขลักษณะ และมีประสิทธิภาพหรือใช้งานได้

9.7 ต้องไม่มีสัตว์เลี้ยง เช่น สุนัข แมว หรือสัตว์อื่นๆ เช่น นก หนู แมลง อยู่ในบริเวณผลิตสัตว์เหล่านี้ เป็นพาหะนำโรคซึ่งสามารถปนเปื้อนลงไปในกระบวนการผลิตได้ ดังนั้นต้องมีระบบการกำจัดควบคุมที่มีประสิทธิภาพ เช่น มีการพ่นด้วยสารเคมี หรือมีที่ดัก กำจัด แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ต้องดำเนินการโดยไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์และผู้ปฏิบัติงาน

10. สุขลักษณะผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณผลิตต้องปฏิบัติและคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ดังนี้

10.1 ต้องไม่เป็นโรคหรือมีบาดแผลอันก่อให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์และต้องได้รับการตรวจสุขภาพอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

10.2 ต้องแต่งกายสะอาด ตัดเล็บให้สั้น ไม่ทาเล็บ ไม่ใส่เครื่องประดับ เช่น แหวน กำไล เป็นต้น เพราะสิ่งเหล่านี้เป็นแหล่งสะสมสิ่งสกปรกและล้างออกได้ยาก และต้องล้างมือให้สะอาดก่อนเริ่มปฏิบัติงาน หลังออกจากห้องน้ำห้องส้วม และหลังมีการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกทุกครั้ง โดยเฉพาะผู้ปฏิบัติงานในห้องบรรจุต้องสวมถุงมือที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ สะอาด ถูกสุขลักษณะ กรณีไม่สวมถุงมือต้องมีมาตรการให้คนงานล้างมือ เล็บ แขน ให้สะอาดก่อนเข้าห้องบรรจุและจุ่มล้างด้วยน้ำคลอรีนหรือฉีดพ่นด้วยแอลกอฮอล์ 70% ก่อนทำการบรรจุ มีหมวกหรือผ้าคลุมผม หรือ ตาข่าย/แถบรัดผม อย่างใดอย่างหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผม ขี้รังแค ตกลงไปในน้ำที่ผลิตได้ ผ้ากันเปื้อน/ผ้าปิดปาก และรองเท้า ซึ่งต้องเป็นคนละคู่เพื่อป้องกันการปนเปื้อนเชื้อโรคจากคนงานและสิ่งสกปรกภายนอกลงในผลิตภัณฑ์

10.3 ต้องไม่บริโภคสิ่งใดๆ เช่น อาหาร สูบบุหรี่ กินหมาก หรือการกระทำอันน่ารังเกียจ เช่น บ้วนน้ำลาย ไอ จาม แคะ แกะ เกาบาดแผล ซึ่งอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อโคลิฟอร์มแบคทีเรียโดยเฉพาะเชื้อ *Staphylococcus aurous* ลงในผลิตภัณฑ์ได้

ผู้ผลิตควรจัดให้มีพนักงานทำหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบและควบคุมสุขลักษณะคนงานโดยเฉพาะและจัดให้มีการอบรมความรู้ด้านสุขลักษณะอาหารหรือสุขาภิบาลอาหารสม่ำเสมอเป็นประจำทุกปี

11. การบันทึกและรายงาน

การบันทึกและรายงานผู้ผลิตต้องบันทึกและรายงานเกี่ยวกับการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สภาพการทำงานของเครื่องกรอง หรือ เครื่องฆ่าเชื้อโรครวมทั้งคุณภาพน้ำดื่มทางด้านเคมี ฟิสิกส์และทางชีวภาพ

12. คุณภาพน้ำ

วรางคณา สังสิทธิสวัสดิ์ การประปา, 2545

12.1 พีเอช (pH) ความเป็นกรดเป็นด่าง (Acidity, Alkalinity)

12.1.1 ความเป็นกรด (Acidity)

หมายถึง ความสามารถของน้ำในการแตกตัวให้โปรตอน หรือไฮโดรเจนไอออน [H^+] ความเป็นกรดของน้ำธรรมชาติเกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์และเกลือของกรดที่มีอยู่ในน้ำปกติแล้ว ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นต้นเหตุสำคัญของความเป็นกรดในน้ำ ก๊าซนี้มาจากอากาศ การหายใจของพืชและสัตว์ การสลายตัวของอินทรียวัตถุโดยแบคทีเรีย น้ำใต้ดินมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เนื่องจากเกิดออกซิเดชันในชั้นดิน

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน เมื่อไหลลงสู่แหล่งน้ำที่มีหินปูน จะละลายหินปูนให้อยู่ในรูป $Ca(HCO_3)_2$ จำนวนหนึ่งและ H_2CO_3 ที่เหลืออาจแตกตัวให้ไฮโดเจนไอออนต่อไปได้อีก ดังสมการนี้

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$

$$CO_2 + CaCO_3 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$H^+ + HCO_3^- \longrightarrow H^+ + CO_3^-$$

ความเป็นกรดแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ น้ำที่มีความเป็นกรดที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่ (Carbon dioxide Acidity) จะมี pH มากกว่า 4.5 ส่วนน้ำที่มีความเป็นกรดที่เกิดจากกรดอนินทรีย์ (Mineral Acidity) จะมี pH น้อยกว่า 4.5 ยิ่งถ้าน้ำมีกรดอนินทรีย์สูง ค่า pH จะลดต่ำลง (ดังตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ปริมาณไฮโดรเจนไอออนจากกรดอนินทรีย์และ pH

H^+ มิลลิกรัม/ลิตรในรูป $CaCO_3$	pH
2-3	4.3
4-5	4.0
6-7	3.9
8-9	3.8
10-11	3.7
12-13	3.6
14-16	3.5
17-20	3.4
21-25	3.3
26-30	3.2
31-40	3.1
41-50	3.0

ความเป็นกรดที่เกิดจากกรดอนินทรีย์นั้น อาจเกิดจากน้ำไหลผ่านบริเวณดินกรด ดินเปรี้ยว (Acid sulphate soil) ดินที่มีซัลไฟด์ หรือกำมะถันประปนอยู่ในยารักษาโรคพืชและปุ๋ยบางชนิด การไฮโดรลิซิสของเฟอร์ริกไอออน อะลูมิเนียมไอออนจากแร่บางชนิด และการออกซิไดซ์ของเหล็กซัลไฟด์ด้วยจุลินทรีย์ (Sulphur Oxidizing Bacteria) เกิดดังสมการนี้

$$2FeS_2 + 2H_2O + 7O_2 \rightleftharpoons 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

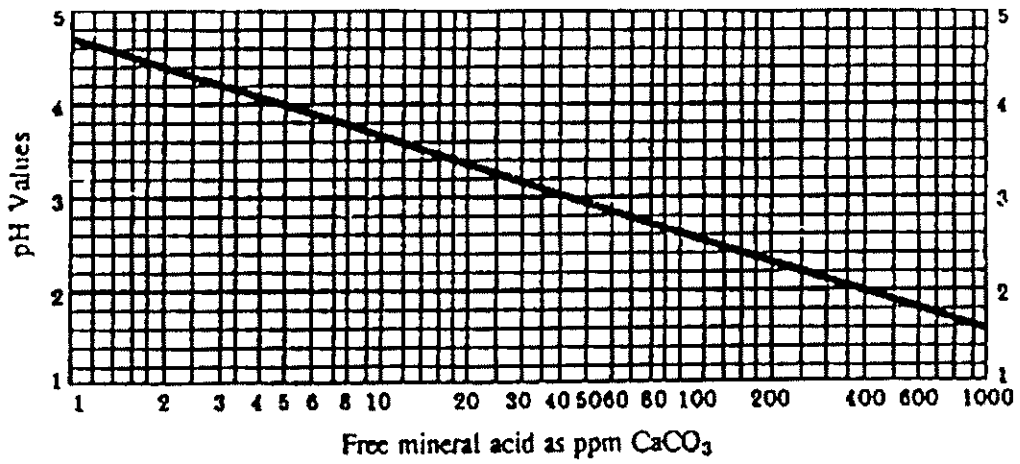
$$H_2SO_4 \rightleftharpoons 2H^+ + SO_4^{-2}$$

และเฟอร์รัสซัลเฟตที่ได้จะถูกออกซิไดซ์เป็นเฟอร์ริกซัลเฟต

$$Fe_2(SO4)_3 \rightleftharpoons 2Fe^{+3} + 3SO_4^{-2}$$

$$Fe^{+3} + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H^+$$

จะเห็นได้ว่าปริมาณไฮโดรเจนไอออนเพิ่มขึ้น ทั้งจากการแตกตัวของกรดกำมะถันและการไฮโดรลิซิสของเฟอร์ริกไอออน ซึ่งจะเพิ่มความเป็นกรดให้มากยิ่งขึ้น ดัง (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง pH และ Mineral Aciddity หรือ Free Mineral Acidity (FMA)

ความเป็นกรดในน้ำประปาอาจเพิ่มขึ้นได้จากการทำโคแอกกูเลชันด้วยอะลูมิเนียมซัลเฟต หรือเฟอร์รัสซัลเฟตในน้ำที่มีความเป็นด่างต่ำ และทำให้ pH น้ำลดต่ำลง มีผลต่อการกัดกร่อนท่อประปา นอกจากนี้ความเป็นกรดยังมีผลต่อการลดความกระด้าง โดยวิธีใช้ปูนขาวกับโซดาซักผ้า และการลดปริมาณเหล็กและแมงกานีส

12.1.2 ความเป็นด่าง (Alkalinity)

หมายถึง ความเป็นด่างของน้ำ คือความสามารถในการปรับโปรตอนหรือไฮโดรเจนไอออนของน้ำ เกิดจากเกลือของกรดอ่อน น้ำธรรมชาติปกติมี pH อยู่ในระหว่าง 6-8 ซึ่งเกิดจากความสมดุลทางเคมีของไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และคาร์บอเนตไอออน (CO_3^{-2}) ความเป็นด่างของน้ำประกอบด้วยไอออนต่าง ๆ เช่น คาร์บอเนต ไบคาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ (OH^-) แต่ไอออนตัวอื่น ๆ เช่น บอเรต (Borate) ซิลิเกต (Silicate) และฟอสเฟต (PO_4^{-3}) ก็มีส่วนให้ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) ด้วยเช่นกัน น้ำธรรมชาติพบความเป็นด่างอยู่ในรูปของแคลเซียมและแมกนีเซียมไบคาร์บอเนต ซึ่งบางครั้งก็รวมเอาโซเดียมไบคาร์บอเนตด้วย น้ำผิวดินที่มีสาหร่ายอยู่มาก ๆ สาหร่ายจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ทั้งในรูปอิสระและรูปอื่น ๆ ช่วยในการสังเคราะห์แสง ความเป็นด่างของน้ำจึงเปลี่ยนแปลง น้ำในหม้อไอน้ำที่ต้มนาน ๆ จะมีความเป็นด่างจากไฮดรอกไซด์ และทำให้ pH สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากไบคาร์บอเนต ในน้ำสลายตัวเมื่อน้ำร้อนจนถึงจุดเดือด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายอยู่ในน้ำจะไม่ละลายน้ำต่อไป จะระเหยไปพร้อมกับอายน้ำ ทำให้ค่า pH สูงขึ้น จึงเป็นเหตุให้สมดุลของความเป็นด่างตามสมการต่าง ๆ เปลี่ยนจากไบคาร์บอเนต และจากคาร์บอเนตเป็นไฮดรอกไซด์ดังนี้

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3^- \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^{-2}$$

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

$$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons 2H^+ + HCO_3^{-2}$$

$$HCO_3^{-2} + H_2O \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^-$$

ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กับความเป็นด่างในรูปต่าง ๆ และ pH ของน้ำในธรรมชาติมีดังนี้

pH 11.0-9.4 มีความเป็นด่างไฮดรอกไซด์และคาร์บอเนตไม่มีความเป็นด่างไบคาร์บอเนต

pH 9.4-8.3 มีความเป็นด่างคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต ไม่มีความเป็นด่างไฮดรอกไซด์

pH 8.3-4.5 มีความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ไม่มีความเป็นด่างคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์

pH ต่ำกว่า 4.5 มี Mineral Acids และจะไม่พบไบคาร์บอเนตและไฮดรอกไซด์อยู่ร่วมกัน เช่นเดียวกับคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอเนตจะไม่อยู่ร่วมกัน

ความเป็นด่างทั้งสามชนิดและคาร์บอนไดออกไซด์ต่างก็อยู่ในสมดุลซึ่งกันและกัน ถ้าหาก pH มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณตัวใดตัวหนึ่งเปลี่ยนแปลงไป และเปลี่ยนเป็นความเป็นด่างในอีกรูปหนึ่ง

ความเป็นด่างของน้ำหาได้โดยการไทเทรตตัวอย่างน้ำกับกรดกำมะถันมาตรฐานเข้มข้น 0.02 นอร์มัล มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตรในรูป $CaCO_3$ ความเป็นด่างจะมีความสัมพันธ์กับ pH ที่เป็นจุดเปลี่ยนสีของฟีนอลทาลีน (pH 8.3) และเมทิลออเรนจ์อินดิเคเตอร์ (pH 4.5) ผลจากการวัดค่าความเป็นด่างนี้นำไปใช้คำนวณชนิดของความเป็นด่างที่มาจากไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ได้

น้ำที่มีความเป็นด่างสูง เรียกว่าน้ำที่มีบัฟเฟอร์ (Buffer) สูง ต้านทานการเปลี่ยนแปลง pH ได้ดี ช่วยให้ปฏิกิริยาโคแอกกูเลชันสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่มีการลดลงของ pH

เกิดขึ้น ความเป็นด่างยังมีความสำคัญในกระบวนการปรับสภาพน้ำ การลดความกระด้าง การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะในน้ำ

12.1.3 ความขุ่น (Turbidity)

หมายถึง ความขุ่นเกิดจากสารแขวนลอยในน้ำเช่น ดิน โคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก สาหร่ายเซลล์เดียว แพลงค์ตอน ไดอะตอม และสารอนินทรีย์ สารที่แขวนลอยอยู่ในน้ำสามารถทำให้แสงเกิดหักเหและอาดดูดแสงไว้ไม่ให้ทะลุผ่านไป จึงทำให้มองเห็นน้ำมีลักษณะขุ่น ความขุ่นสังเกตได้ง่าย จึงนิยมใช้ความขุ่นเป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพกระบวนการกรองน้ำ การตกตะกอน เป็นต้น น้ำดื่มไม่ควรมีความขุ่นเกินกว่า 5 หน่วย แต่ถ้าน้ำดื่มที่เหมาะสมกว่านี้ไม่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคและมาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค จึงอนุโลมสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 หน่วย เพื่อไม่ให้เป็นที่รังเกียจและเป็นกลุ่มก้อนของเชื้อโรค หน่วยวัดความขุ่นที่ใช้จะเทียบกับซิลิกา และเรียกชื่อหน่วยความขุ่นตามวิธีการตรวจวัดคือ เจทียู (Jackson Turbidity Unit; JTU) เอฟทียู (Formazin Turbidity Unit; FTU) และ เอ็นทียู (Nephelometric Turbidity Unit; NTU) ค่าความขุ่นทั้งสามหน่วยนี้จะให้ค่าเป็นตัวเลขที่เท่ากัน โดยค่าความขุ่น 1 เอ็นทียูหมายถึง น้ำมีความขุ่นเทียบได้กับซิลิกา (SiO_2) ละลายอยู่ 1 มิลลิกรัมในน้ำ 1 ลิตร

12.1.4 ความกระด้าง (Hardness)

หมายถึง น้ำที่มีความกระด้างทำให้สบู่เกิดฟองได้ยาก เกิดเป็นตะกรันจับในท่อน้ำเมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นและทำให้รสเปลี่ยน ความกระด้างส่วนใหญ่เกิดจากธาตุกลุ่ม IIA ในตารางธาตุได้แก่พวก Alkaline Earth Metal ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโลหะที่มีประจุบวกสองเช่น แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) สตรอนเตียม (Sr) เหล็กเฟอร์รัส (Fe) และแมงกานีส (Mn) เมื่อไอออนประจุบวกเหล่านี้จับตัวกันไอออนประจุลบบางชนิด (ตารางที่ 4)จะเกิดเป็นความกระด้างขึ้น อะลูมินัมไอออนและเฟอร์ริกไอออน บางครั้งก็ถือว่ามีส่วนทำให้เกิดความกระด้างเหมือนกัน แต่ในสภาวะน้ำธรรมชาติ ธาตุเหล่านี้ละลายน้ำได้น้อยมากจนถือว่าไม่ปรากฏอยู่ในน้ำ ส่วนแคลเซียมและแมกนีเซียมพบมากกว่าธาตุอื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ความกระด้างจึงมักหมายถึงสองธาตุนี้

เมื่อน้ำที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่จะมีลักษณะสมบัติที่สามารถละลายหินปูน ($CaCO_3$) และแมกนีเซียมคาร์บอเนตได้เกิดเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต ($Ca(HCO_3)_2$) แมกนีเซียมคาร์บอเนต ($Mg(HCO_3)_2$) แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ซึ่งสารเหล่านี้ละลายน้ำได้ง่าย แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ละลายน้ำได้บ้าง ส่วนแมกนีเซียมและแคลเซียมคาร์บอเนตจะละลายน้ำได้เล็กน้อย

ตารางที่ 4 ไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบที่ทำให้เกิดความกระด้างในน้ำ

ไอออนประจุบวก	ไอออนประจุลบ
Ca^{+2}	HCO_3^-
Mg^{+2}	$SO4^{-2}$
Sr^{+2}	Cl^-
Fe^{+2}	NO_3^-
Mn^{+2}	SiO_3^-

หน่วยของความกระด้างวัดเป็นพีพีเอ็ม หรือ มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูป CaCO3

ปัจจุบันยังไม่มีการกำหนดระดับความกระด้างในน้ำอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นที่ยอมรับของทุกคน อย่างไรก็ตาม อาจกำหนดระดับความกระด้างได้คร่าว ๆ ดังนี้

- ความกระด้างต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 = สภาพน้ำอ่อน
- ความกระด้างต่ำกว่า 50-150 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 = น้ำค่อนข้างอ่อน
- ความกระด้างต่ำกว่า 150-250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูป CaCO3 = ความกระด้างเล็กน้อย
- ความกระด้างต่ำกว่า 250-350 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 = กระด้าง
- ความกระด้างมากกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 = กระด้างมาก
- ความกระด้างทั้งหมดในน้ำ (Total Hardness) เป็นการรวมความกระด้างทุกประเภทที่มีในน้ำ น้ำประปาควรมีแคลเซียมไม่เกินกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 ส่วนน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคควรมีความกระด้างทั้งหมดไม่เกินกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 และอนุโลมให้มีได้ไม่เกินกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 ส่วนความกระด้างถาวรไม่เกินกว่า 200มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3 และอนุโลมให้มีได้ไม่เกินกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตรในรูป CaCO3

12.2 คลอไรด์ (Chloride)

หมายถึง คลอไรด์มีอยู่ทั่วไปในน้ำธรรมชาติ เนื่องจากคลอไรด์ละลายน้ำได้ง่ายและเสถียรภาพสูง จึงพบปริมาณค่อนข้างคงที่ และพบรวมกับโซเดียมมากที่สุด รองลงมาคือโพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม น้ำทะเลมีคลอไรด์ไอออนมากกว่าไอออนชนิดอื่น ๆ คือ $Cl^- > SO4^{-2} > HCO_3^-$ ในน้ำผิวดินที่ใกล้ปากน้ำ หรือบริเวณที่น้ำทะเลหนุนขึ้นมาถึง จะมีปริมาณคลอไรด์มาก ซึ่งเกิดจากคลอไรด์ที่อยู่ในน้ำทะเลถูกลมหอบพัดเข้าหาฝั่ง การสะสมคลอไรด์ที่ผิวดินหลังน้ำแห้ง หรือน้ำระเหยออกไป และอากาศที่มีคลอไรด์ปนอยู่จะลอยตัวขึ้นสูงเกิดการขยายตัวและกลั่นตัวเป็นฝน ส่วนน้ำผิวดินมี $HCO_3^- > SO4^{-2} > Cl^-$ น้ำในแม่น้ำและอ่างเก็บน้ำมีคลอไรด์น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าปนเปื้อนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือชุมชนอาจมีคลอไรด์มากกว่า 70 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำฝนมีคลอไรด์ประมาณ 3 พีพีเอ็ม น้ำบนที่ราบ

สูงและแถบภูเขาจะมีคลอไรด์น้อย ส่วนน้ำใต้ดินอาจมีคลอไรด์มาก หรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับแร่ธาตุบริเวณนั้น

มาตรฐานน้ำดื่มกำหนดให้มีคลอไรด์ไม่เกินกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่อนุโลมให้ได้ไม่เกินกว่า 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามีปริมาณมากน้ำอาจจะมีรสกร่อย แต่ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับสารประกอบที่คลอไรด์รวมอยู่ด้วย นอกจากนี้ปริมาณคลอไรด์ในน้ำจะใช้เป็นดัชนีบอกถึงแนวโน้มของน้ำที่จะมีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะ เครื่องสูบน้ำ ท่อประปา และในกระบวนการต่าง ๆ ของการผลิตประปาไม่อาจกำจัดคลอไรด์ได้

12.3 ไนเตรตและไนไตรต์ (Nitrate& Nitrite)

หมายถึง แอมโมเนียในดิน(ซึ่งออกมาจาก Mineralization หรือ ammonification ของอินทรีย์ วัตถุในดิน) ถูกจุลินทรีย์กลุ่ม Nitrosomonas, Nitrosococcus, Nitrosospira และ Nitrosolobus ออกซิไดส์เป็นไนไตรต์ (NO_2^-) และไนไตรต์ เปลี่ยนเป็นไนเตรต์ (NO_3^-) ทันที ไนไตรต์จึงเป็นรูปที่แอคทีฟของไนเตรต แต่ไม่ค่อยพบในน้ำ ถ้าพบแสดงว่าน้ำมีแอมโมเนียสูง เป็นน้ำที่สัมผัสกับน้ำเสีย สิ่งสกปรกและอาจมีเชื้อโรค น้ำดื่มไม่ควรมีไนเตรตและไนไตรต์รวมกันสูงกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนโตรเจน หรือสูงกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนเตรต จะทำให้เกิดโรคในเด็กทารกได้ ไนไตรต์ที่อยู่ในรูปของโซเดียมจะมีคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็ก ในสารละลายด่างเจือจางได้

การพบไนเตรตในน้ำแสดงว่า น้ำมีการปนเปื้อนน้ำเสีย ปุ๋ยจากการเกษตร น้ำที่มีไนเตรต 10-20 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดโรคในเด็กทารกที่มีอายุต่ำกว่า 6 เดือน ทำให้เกิดโรค Methaemoglobinaemia หรือ Blue Babies disease ในหมอไอน้ำจำเป็นต้องให้มีปริมาณไนเตรตเหลืออยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อไม่ให้เกิดการแทรกตัวของด่างเข้าไปในเนื้อโลหะ (Embrittlement) ทำให้โลหะเปราะร้าว

องค์การอนามัยโลกแนะนำให้มีไนเตรตและไนไตรต์รวมกันในน้ำดื่มได้ไม่เกินกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนเตรต และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนโตรเจน และน้ำดื่มในภาชนะบรรจุปิดสนิทตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) มีได้ไม่เกินกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนโตรเจน น้ำประปาและน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคมีไม่เกินกว่า 45 มิลลิกรัมต่อลิตร วัดในรูปของไนเตรต

12.4 โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (Total Coliform Bacteria)

โคลิฟอร์มแบคทีเรียแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ โคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliforms) และฟีคอลโคลิฟอร์ม (Feacal Coliforms) โคลิฟอร์มทั้งหมดหมายถึงกลุ่มโคลิฟอร์มทุกชนิด ไม่ว่าจะมาจากสิ่งขับถ่ายแหล่งใด โคลิฟอร์มทั้งหมดแบ่งตามกลุ่มแบคทีเรียได้หลายกลุ่มได้แก่ Esherichia, Citrobater, Krebciella, Enterobacter แต่ฟีคอลโคลิฟอร์มหมายถึงกลุ่มโคลิฟอร์มจากทางเดินอาหารของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น โดยเฉพาะ *Esherichia* coli หรือ *E.coli* เป็นแบคทีเรียที่พบในลำไส้ของมนุษย์ จึงใช้เป็นดัชนี (Index) วัดการปนเปื้อน เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มนี้โดย

ปกติไม่ก่อให้เกิดโรค (Non-pathogens) เมื่อถ่ายออกมากับอุจจาระจะปนเปื้อนอยู่ในน้ำ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้นานกว่าแบคทีเรียก่อโรค (Pathogenic) การตรวจพบฟีคอลโคลิฟอร์มแสดงว่าน้ำนั้นมีการปนเปื้อนด้วยอุจจาระ (Fecal material) และอาจมีการปนเปื้อนด้วยแบคทีเรียที่ก่อโรค

การวิเคราะห์หาโคลิฟอร์มทั้งหมดจะใช้ในกรณีคุณภาพน้ำดื่ม ด้วยเหตุที่ว่าน้ำดื่มควรปราศจากโคลิฟอร์มทุกชนิด ไม่ว่าจะมาจากแหล่งใด ส่วนการวิเคราะห์หาฟีคอลโคลิฟอร์มเป็นการทดสอบการปนเปื้อนของแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำบาดาลว่าได้รับการปนเปื้อนจากสิ่งปฏิกูล น้ำเสีย หรือน้ำทิ้งที่มีระบบการบำบัดไม่ดีพอ หรือไม่

13. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ และน้ำก็เป็นสื่อสำคัญนำเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย ดังนั้นการดูแลควบคุมคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดให้สะอาดปลอดจากเชื้อโรคและสารปนเปื้อน หรือทำให้มีเชื้อโรคปนเปื้อนอยู่น้อยมาก จนไม่ก่ออันตรายแก่ผู้บริโภค จึงนับว่าเป็นมาตรการสำคัญ ซึ่งจากงานวิจัยของ

อุษามาส จริวรานุกูล (2549) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำดื่มในมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ได้แก่ น้ำดื่มจากถังขาวขนาดบรรจุ 20 ลิตร น้ำดื่มที่ผ่านเครื่องทำน้ำเย็นและน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำดื่มแบบเท้าเหยียบ พบว่า น้ำดื่มจากถังขาวขนาดบรรจุ 20 ลิตร และน้ำดื่มที่ผ่านเครื่องทำน้ำเย็นมีจุลินทรีย์ทั้งหมด ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) จำนวน 7 และ 13 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่างร้อยละ 35.00 และ 65.00 ตามลำดับ แต่ค่าความกรด-ด่าง ปริมาณเหล็ก และค่าความกระกระด้างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนน้ำดื่มจากเครื่องทำน้ำดื่มแบบเท้าเหยียบพบว่า มีค่าความกระด้างไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 40.00 แต่ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณเหล็กและจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

บุญถนอม พิมมะสอน (2547) ได้ศึกษาพฤติกรรมการดื่มน้ำของประชาชนในเขตบ้านฮ่องแซง เมืองจันทร์ทะบูรี นครหลวงเวียงจันทน์พบว่า มีประชาชนดื่มน้ำบรรจุขวดร้อยละ 71.76 น้ำประปาร้อยละ 25.29 ดื่มน้ำบ่อตื้นร้อยละ 1.76 ดื่มน้ำฝนร้อยละ 0.60 ดื่มน้ำบาดาลร้อยละ 0.59 ตามลำดับ

ผกา ผดุงมาตรวรกุล (2544) ได้ศึกษาความคิดเห็นต่อคุณภาพและบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกของผู้บริโภค ในเขตเทศบาลนคร อุดรธานี พบว่า ผู้บริโภคมีความคิดเห็นด้วยในระดับปานกลางต่อเรื่องคุณภาพของน้ำประปาดีกว่าน้ำดื่มบรรจุขวด เครื่องหมายทะเบียน อย. สามารถเป็นหลักประกันความได้มาตรฐานของน้ำดื่มและน้ำบรรจุขวดมีความจำเป็นต่อการดำรงชีพ ส่วนเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของบรรจุภัณฑ์กับคุณภาพของน้ำดื่มและความมีมาตรฐานของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใส ผู้บริโภคมีความคิดเห็นด้วยในระดับค่อนข้างมาก แต่มีความคิดเห็นด้วยในระดับค่อนข้างน้อยในเรื่องคุณภาพมาตรฐานของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกขุ่น

โดยปัจจัยด้านการผลิตภัณฑ์ กับด้านช่องทางจัดจำหน่ายมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกของผู้บริโภคในระดับค่อนข้างมาก ส่วนปัจจัยราคากับด้านการส่งเสริมการตลาดมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจดังกล่าวอยู่ในระดับปานกลาง

อัจฉรา วงศ์ราเชน (2544) ได้ศึกษาและปัจจัยทางด้านบรรจุภัณฑ์ที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการบริโภคน้ำดื่มของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อน้ำดื่มยี่ห้อสิงห์เป็นประจำเพราะหาซื้อง่าย ขนาดที่ซื้อเป็นประจำคือขนาด 500 ลบ.ซม เพราะเป็นขนาดที่มีจำหน่ายทั่วไป สถานที่ผู้บริโภคส่วนใหญ่ซื้อคือซุปเปอร์มาร์คเก็ตเพราะเห็นว่าสะดวก ลักษณะของบรรจุภัณฑ์ที่ซื้อคือ ขวดพลาสติกใสเพราะเห็นว่าสะอาด ซื้อสัปดาห์ละครั้งโดยซื้อเองเมื่อของหมด หลังจากบริโภคแล้วเห็นว่าคุณภาพดี ผู้บริโภคใช้ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการบริโภคกับน้ำดื่มโดยรวมและรายได้ในระดับมากยกเว้นด้านคุณภาพใช้มากที่สุด ผู้บริโภคที่มีเพศและจำนวนสมาชิกในครอบครัวต่างกันใช้ปัจจัยทางด้านบรรจุภัณฑ์โดยรวมและรายด้านแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้บริโภคที่มีอายุ อาชีพ ต่างกันใช้ปัจจัยทางด้านบรรจุภัณฑ์โดยรวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.01$) และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ การแสดงฉลาก ยี่ห้อ ใช้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.01$) ส่วนด้านอื่น ๆ ใช้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้บริโภคที่มีรายได้ต่างกันใช้ปัจจัยทางด้านบรรจุภัณฑ์โดยรวมแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.01$) และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ การแสดงฉลาก คุณภาพ ยี่ห้อ ใช้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.01$) ส่วนด้านอื่น ๆ ใช้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้บริโภคที่มีระดับการศึกษาต่างกันใช้ปัจจัยโดยรวมแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณารายด้นพบว่าด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์ใช้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.01$) ส่วนด้านอื่น ๆ ใช้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้บริโภคที่มีระยะเวลาในการบริโภคน้ำดื่มต่างกันใช้ปัจจัยโดยรวมแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อพิจารณารายโดยพบว่า ด้านยี่ห้อใช้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ส่วนด้านอื่น ๆ ใช้แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

วีรศักดิ์ เหล่าตระกูล (2544) ได้ศึกษาการปนเปื้อนแบคทีเรียของภาชนะบรรจุน้ำบริโภคปิดสนิทแบบใช้ซ้ำรูปทรงเหลี่ยมกับรูปทรงกลมพบว่า การปนเปื้อนโคลิฟอร์มแบคทีเรียในภาชนะรูปทรงเหลี่ยมสูงกว่ารูปทรงกลมโดยถังรูปทรงเหลี่ยม ร้อยละ 25.40 และถังรูปทรงกลม ร้อยละ 19.84 มีค่า MPN โคลิฟอร์มแบคทีเรีย มากกว่า 2.2 ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ค่าเฉลี่ยของระดับโคลิฟอร์มแบคทีเรียของภาชนะรูปทรงเหลี่ยมและรูปทรงกลมคือ 107.91 และ 86.43 ตามลำดับ แต่ปริมาณการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ในภาชนะบรรจุทั้ง 2 แบบ ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p = 0.018$) ผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนเชื้อ *E. coli* ในภาชนะตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 1,260 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่จะไม่พบเชื้อ *E. coli* โดยอัตราของการพบเชื้อ *E. coli* ของถังรูปทรงเหลี่ยมสูงกว่าถังรูปทรงกลมเล็กน้อยคือ ร้อยละ 6.67 และ 4.92 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p = 0.228$)

ธวัชชัย เนียรวิฑูรย์ และคณะ (2543) ได้วิจัยการตรวจสอบคุณภาพและมาตรฐานของน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท และน้ำแข็งรับประทานได้ ผลการวิจัยพบว่า โรงงานน้ำดื่มบรรจุขวดเข้าข่ายโรงงาน ร้อยละ 22.20 ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กผลิตน้ำดื่มส่วนใหญ่ใช้น้ำประปา ร้อยละ 87.30 ปิดผนึกด้วยฝาพลาสติกมีการรั่วซึม ร้อยละ 89.80 การตรวจสอบฉลากข้างขวดมีหนังสือเลอะเลือน ร้อยละ 20.40 มีเครื่องหมาย "อย." ไม่ถูกต้อง ร้อยละ 7.10 โรงงาน คุณสมบัติทางชีวภาพไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากตรวจพบแบคทีเรียชนิด *E. coli* ร้อยละ 12.20 และ17.14และโรงงานผลิตน้ำแข็งใช้รับประทานเข้าข่ายโรงงานร้อยละ 81 ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กใช้น้ำประปาเป็นวัตถุดิบผลิต ร้อยละ 57.14 ไม่มีกระบวนฆ่าเชื้อโรคในน้ำร้อยละ 33.33 ดัชนีคุณภาพน้ำแข็งเมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ในเรื่องคุณภาพทางกายภาพโรงงานที่ผลิต ไม่ผ่านมาตรฐานถึงร้อยละ 81.90 และคุณภาพทางชีวภาพมีโรงงานที่ผลิตน้ำแข็งไม่ได้มาตรฐานพบบักเตรีชนิดโคลิฟอร์ม ร้อยละ 62.90 และพบ *E. coli* ร้อยละ 53.40

อุไรวรรณ อินม่วงและคณะ (2543) ได้ศึกษาการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคทางแบคทีเรียอย่างง่ายในโรงเรียน โดยอาสาสมัครนักเรียน : กรณีจังหวัดขอนแก่น โดยทำอบรมและการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคทางแบคทีเรียโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้ออย่างง่าย และหลังจากการอบรมให้อาสาสมัครดำเนินการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคทางแบคทีเรีย ผลการศึกษาพบว่าอาสาสมัครที่ผ่านการอบรม มีศักยภาพสามารถดำเนินการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคทางแบคทีเรียอย่างง่ายได้ โดยอาสาสมัครนักเรียนส่วนใหญ่ ร้อยละ 68.75 มีความคิดเห็นว่าสามารถดำเนินการเฝ้าระวังเองได้ภายใต้การดูแลของอาจารย์ และมีวัสดุอุปกรณ์สนับสนุน ร้อยละ 31.25 มีความสมัครใจที่จะดำเนินการต่อไป ส่วนความคิดเห็นของอาจารย์ในโรงเรียนที่ศึกษา ร้อยละ 71.69 มีความคิดเห็นว่าอาสาสมัครนักเรียนมีศักยภาพสามารถดำเนินการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำบริโภคทางแบคทีเรียอย่างง่ายได้ภายใต้การดูแลของอาจารย์ อาจารย์ทุกคนมีความต้องการให้มีการเฝ้าระวังต่อไปอย่างต่อเนื่อง ส่วนการให้การสนับสนุน วัสดุอุปกรณ์ อาจารย์ส่วนใหญ่ ร้อยละ 52.83 มีความเห็นว่า ควรเป็นหน่วยงานสาธารณสุข นักเรียนส่วนใหญ่ ร้อยละ 98.28 มีความต้องการให้มีการเฝ้าระวังต่อไปอย่างต่อเนื่อง

นพกร ไพรดีและคณะ (2542) ได้ศึกษาน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ผลิตในภาคตะวันออกจำนวน 776 ตัวอย่าง ได้นำมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางฟิสิกส์ เคมีและจุลชีววิทยาตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524)และฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534) โดยแบ่งเป็นน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ผู้ผลิตนำส่งวิเคราะห์ประกอบการขึ้นทะเบียน (pre marketing) จำนวน 272 ตัวอย่าง มีตัวอย่างผิดมาตรฐานจำนวน 72 ตัวอย่าง (ร้อยละ 26.5) โดยไม่ได้มาตรฐานทางฟิสิกส์ 76 ตัวอย่าง (ร้อยละ 27.9) ทางเคมี 15 ตัวอย่าง (ร้อยละ 5.5) ทางจุลชีววิทยา 39 ตัวอย่าง (ร้อยละ 14.3) และน้ำที่เก็บตรวจเพื่อเฝ้าระวัง (post marketing) จำนวน 504 ตัวอย่าง มีตัวอย่างผิดมาตรฐานจำนวน 123 ตัวอย่าง คิดเป็น

ร้อยละ 24.4 โดยไม่ได้มาตรฐานทางฟิสิกส์ 160 ตัวอย่าง (ร้อยละ 31.7)ทางเคมี 23 ตัวอย่าง (ร้อยละ 4.6) ทางจุลชีววิทยา 50 ตัวอย่าง (ร้อยละ 9.9) น้ำ pre marketing มีตัวอย่างที่ผิดมาตรฐานสูงกว่า post marketing เล็กน้อย พบว่าน้ำที่ไม่ได้มาตรฐานทางจุลชีววิทยาพบเชื้อ Coli form bacteria มากกว่า 240 และพบเชื้อ *E. Coli* แสดงว่าการผลิตยังควบคุมเรื่องความสะอาดไม่ดีพอ ดังนั้นทางศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องร่วมมือกันในการกำกับดูแลให้การผลิตน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ในภาคตะวันออกได้คุณภาพและมาตรฐาน

ประพันธ์ จันทร์แก้ว (2542) ได้ศึกษาผลของกระบวนการผลิตและสภาพแวดล้อมของโรงงานต่อคุณภาพน้ำบริโภคบรรจุขวดที่ผลิตในจังหวัดสงขลาจำนวน 32 แห่ง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากสถานที่ผลิตน้ำบริโภคแห่งละ 2 ตัวอย่าง เป็นน้ำก่อนการผลิต 1 ตัวอย่าง น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตและบรรจุขวดแล้ว 1 ตัวอย่าง ทำการเก็บ 2 ครั้ง คือระหว่างฤดูฝน (ตุลาคมถึงธันวาคม 2541) กับฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ ถึง เมษายน 2542) จำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 128 ตัวอย่าง โดยทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ พร้อมทั้งทำการตรวจสอบและสัมภาษณ์ตามแบบบันทึกการตรวจโรงงานผลิตน้ำบรรจุขวด ของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ผลการศึกษาเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิท ของกระทรวงสาธารณสุขพบว่า ความเป็นกรด-เบส ปริมาณสารทั้งหมดและความกระด้างส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค ส่วนโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ฟีคอลโคลิฟอร์มแบคทีเรียและ *E. coli* มีค่าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำบริโภค สำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำประปากับน้ำบาดาล พบว่า น้ำประปามีคุณสมบัติสำหรับผลิตน้ำบริโภคบรรจุขวดดีกว่าน้ำบาดาล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยต่าง ๆ โดยใช้สถิติ Z-test พบว่า การเปรียบเทียบน้ำประเภทเดียวกันระหว่างฤดูฝนกับฤดูแล้ง น้ำก่อนการผลิตมีเพียงโคลิฟอร์มแบคทีเรียที่ตรวจพบในฤดูแล้งเท่านั้นที่มากกว่าฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนปัจจัยอื่น ๆ ไม่มีความแตกต่าง สำหรับน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตและบรรจุขวดแล้ว ก็มีเพียงค่าความกระด้างเท่านั้นที่ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูแล้งมากกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการสำรวจสภาพแวดล้อม พบว่า สถานที่ผลิตน้ำบริโภคส่วนใหญ่มีสายงานการผลิตถูกต้อง แต่มีข้อบกพร่องในเรื่องความสะอาด สภาพเครื่องกรองชำรุดและตัวบุคคลไม่เข้าใจและไม่ระมัดระวังเรื่องการปนเปื้อน รวมทั้งมีการกระทำผิดตามพระราชบัญญัติอาหารในบางแห่งส่วนการตรวจสอบโดยใช้แบบบันทึกของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พบว่า สถานที่ผลิตน้ำบริโภคส่วนใหญ่มีคะแนนไม่เข้าเกณฑ์มาตรฐานและต้องปรับปรุง และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ทางแบคทีเรีย พบว่า สถานที่ผลิตที่มีคะแนนต่ำมีจำนวนของการตรวจพบเชื้อทางแบคทีเรียสูง

พิชญ์อร ไหมสุทธิสกุล (2542) ได้วิเคราะห์คุณภาพน้ำดื่มภายในมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย โดยการสุ่มตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่ขายในบริเวณมหาวิทยาลัยหอการค้าไทยและใกล้เคียง จำนวน 28 ตัวอย่าง รวมทั้งน้ำจากคูลเลอร์น้ำประจำห้องพักพนักงานของมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 53 ตัวอย่าง มาทำการวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์ ได้แก่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย *E.Coli* และ *Staphylococcus aureus* การวิเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ ความกระด้าง เหล็กและทางกายภาพได้แก่ ความเป็นกรด-ด่างและความขุ่น พบว่ามีตัวอย่างน้ำบรรจุขวดที่ผ่านมาตรฐานเพียง 4 ตัวอย่างเท่านั้น นอกนั้นเกินมาตรฐานในรูปของปริมาณเหล็ก (24 ตัวอย่าง) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (7 ตัวอย่าง) และความกระด้าง (2 ตัวอย่าง) ส่วนน้ำดื่มจากคูลเลอร์ในห้องพักพนักงานนั้นผ่านมาตรฐานของปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย *E.Coli* และ *Staphylococcus aureus* และความเป็นกรด-ด่าง แต่ไม่ผ่านมาตรฐานของปริมาณเหล็ก (53 ตัวอย่าง) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (23 ตัวอย่าง) ความกระด้าง (2 ตัวอย่าง) และความขุ่น (11 ตัวอย่าง)

พลับพลึง เทพวิทักษ์กิจและคณะ (2541) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทในเขตภาคเหนือตอนล่าง ทั้งหมด 769 ตัวอย่าง พบว่าไม่เข้ามาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข จำนวน 263 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 34.1 โดยมีสาเหตุจาก โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ปริมาณสารทั้งหมด ไนเตรท และค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยคิดเป็นร้อยละ 54.2, 17.3, 16.8 และ15.4 ตามลำดับ

ฉวิวรรณ นวจินดาและคณะ (2540) ได้สำรวจคุณภาพน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุปิดสนิทในเขต 5 ประกอบกับการสำรวจข้อมูลปัจจัยการผลิตจากสถานประกอบการจำนวน 36 แห่ง ในจังหวัด บุรีรัมย์ ชัยภูมิ สุรินทร์ มหาสารคาม และนครราชสีมา พบว่าน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท จำนวน 81 ตัวอย่างไม่เข้าเกณฑ์มาตรฐาน 32 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 39.5 คุณภาพน้ำในภาชนะชนิดบรรจุถังล้างบรรจุหลายครั้งมีคุณภาพไม่เข้าเกณฑ์มาตรฐานสูงกว่าชนิดขวดใช้ครั้งเดียวในอัตราร้อยละ 48.4 และ 34.0 ตามลำดับ จากการศึกษาความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่าคุณภาพน้ำไม่ได้ขึ้นกับปัจจัยการผลิต ได้แก่ เพศ และระดับการศึกษาของผู้ดูแลกิจการ การเข้าข่ายโรงงานของสถานที่ผลิตการฝึกอบรมจากภาครัฐด้านการผลิต ระบบการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์น้ำดิบที่นำมาผลิตและชนิดของภาชนะที่บรรจุ แต่สัมพันธ์กับการจัดทำบันทึกข้อมูล เช่น การตรวจวิเคราะห์ สภาพการทำงาน เครื่องจักร การทดสอบสารเคมี ชนิดและปริมาณการผลิต ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการควบคุมคุณภาพ

สมศรี ดำรงสวัสดิ์วิทย์และคณะ (2540) ได้ศึกษาคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดในเขตภาคเหนือตอนล่างกับนโยบายแนวร่วมดำเนินการ ปี 2540 โดยดำเนินการปีละ 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 ระหว่าง ธันวาคม 2539-มกคม 2540 และครั้งที่ 2 ระหว่างพฤษภาคม-มิถุนายน 2540 พบว่า ครั้งที่ 1 ตรวจวิเคราะห์จำนวน 298 ตัวอย่าง พบไม่ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ.2524)และฉบับที่ 135 (พ.ศ.2534) ร้อยละ 45.30 โดยมีสาเหตุคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยาร้อยละ 13.76, 15.77 และ 23.82

ตามลำดับ ครั้งที่ 2 ตรวจวิเคราะห์จำนวน 237 ตัวอย่าง พบไม่ได้มาตรฐานร้อยละ 39.66 โดยมีสาเหตุจากคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา ร้อยละ 10.13, 19.83 และ 15.19 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลการตรวจวิเคราะห์ทั้งสองครั้งพบว่าคุณภาพน้ำดีขึ้น โดยเฉพาะคุณทางจุลชีววิทยา แต่ยังมีบางจังหวัดที่คุณภาพน้ำทางจุลชีววิทยาไม่ดีขึ้น

Chun-Yuh Yang *et al.* (2007) ความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไนเตรทในน้ำดื่มและมะเร็งลำไส้ใหญ่นั้นที่ผ่านมายังไม่มีข้อพิสูจน์ที่แน่ชัด ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาโดยจัดให้มีกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมและการศึกษาระดับไนเตรทในสิ่งแวดล้อมเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของผู้ป่วยมะเร็งลำไส้ใหญ่และไนเตรทในน้ำดื่มจากประเทศไต้หวัน สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับการตายจากมะเร็งลำไส้ใหญ่ของชาวไต้หวันจากปี 1999-2003 นั้นได้รับจากสำนักงานชีวสถิติ (The Bureau of Vital Statistics) กรมการสาธารณสุขระดับจังหวัดของไต้หวัน ในการศึกษากลุ่มซึ่งเสียชีวิตจากสาเหตุอื่น จับคู่กับกลุ่มทดลองที่มีอายุ ปีที่เกิดและตายใกล้เคียงกัน โดยกลุ่มควบคุมจะถูกสุ่มมาจากชุดกลุ่มควบคุมที่เหมาะสมกับกลุ่มทดลองแต่ละราย ส่วนข้อมูลของระดับไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3-N) ในน้ำดื่มของไต้หวันได้จากบริษัทน้ำประปา (TWSC) ของไต้หวัน โดยกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอยู่ในเขตเทศบาลและมีโอกาสได้รับไนเตรทจากน้ำดื่ม พบว่าอัตราเสี่ยง (adjusted odds ratios) ของการตายด้วยมะเร็งลำไส้ใหญ่เมื่อได้รับน้ำดื่มที่มีไนเตรทระดับสูงเปรียบเทียบกับน้ำดื่มที่มีไนเตรทระดับต่ำเท่ากับ 0.98(0.84-1.14) และ 0.98(0.83-1.16) ตามลำดับ ซึ่งผลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของความสัมพันธ์ระหว่างระดับไนเตรทในน้ำดื่มและความเสี่ยงของการตายจากมะเร็งลำไส้ใหญ่

Cüneyt Güler (2007) ได้ศึกษาการประเมินส่วนประกอบและสารปนเปื้อนในน้ำดื่มบรรจุขวดในประเทศตุรกี ตามที่ได้ระบุไว้บนฉลากของบริษัทผู้ผลิตหรือในใบอนุญาตในการควบคุมการผลิตที่ได้รับเชื้อมีจำนวนทั้งหมด 189 ยี่ห้อ ประกอบด้วยน้ำดื่มจากน้ำพุธรรมชาติ น้ำดื่มเกลือแร่ธรรมชาติและน้ำดื่มที่ผ่านกระบวนการพิเศษ โดยการประเมินการตรวจทางกายภาพและทางเคมี แล้วทั้ง 2 วิธีนี้จะเป็นตัวกำหนดในการออกฉลากและใบอนุญาตการผลิตและผลการตรวจจะนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกฎหมายของตุรกี (Resmi Gazete, No.23144) คุณสมบัติของน้ำทั้งหมดยังนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของยุโรป (European Economic Community Council Directive 98 / 83 / EC) และมาตรฐานน้ำดื่มบรรจุขวดสากลขององค์การอาหารของสหรัฐฯ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐฯ และองค์การอนามัยโลก จากผลการศึกษาพบว่า มีนัยสำคัญทางสถิติในน้ำดื่มบางชนิดที่มีแร่ธาตุ (เช่น sodium, chloride, sulfide, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) และโลหะหนักอีกหลายชนิด) ปนเปื้อนสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดในกฎหมายของตุรกีและองค์การสากลอื่น ๆ

M.I. Jeena *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาประเมินปริมาณของ heterotrophic bacteria (THB) และ Coliforms จากตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 105 ตัวอย่าง ซึ่งประกอบด้วยน้ำดื่มของ 30 ยี่ห้อที่ขายในรัฐต่าง ๆ จำนวน 6 รัฐของอินเดีย น้ำบรรจุขวดทั้งหมดผ่านกระบวนการ

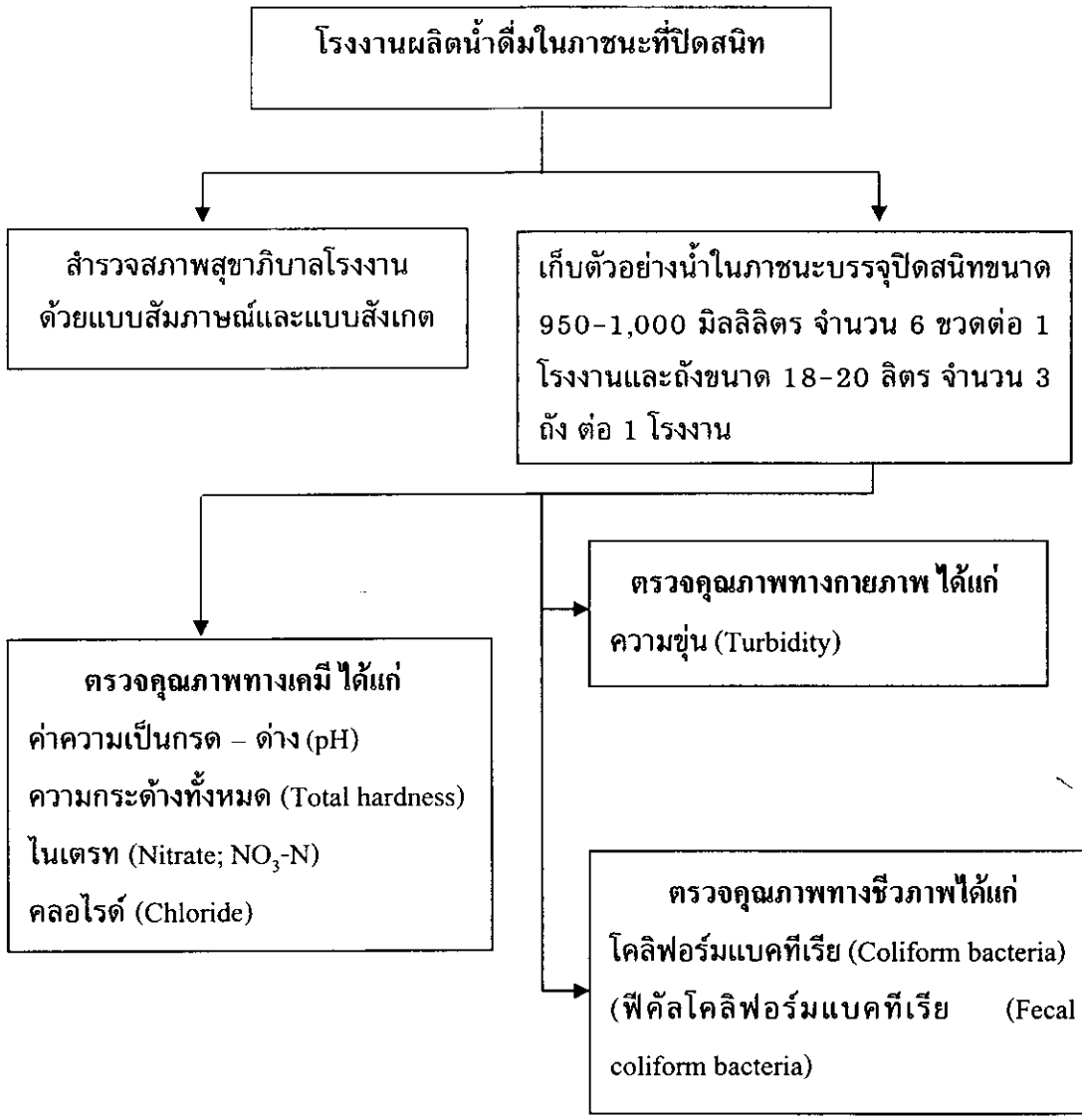
ทำลายเชื้อหลายวิธี เช่น วิธี Microfiltration วิธี reverse osmosis และวิธี Ozonisation พบว่า น้ำดื่ม ประมาณ 40% ของตัวอย่างทั้งหมดมีปริมาณเชื้อมากกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขคือ 100 cfu/ml และเกินมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานแห่งอินเดีย (Bureau of Indian Standard; BIS) พบว่า 14 และ 44% ของตัวอย่างน้ำดื่มมี THB ในช่วง 100 - 1000 cfu/ml หรือมี Coliforms 1000 cfu/ml ซึ่งปริมาณ THB และ Coliforms ที่พบสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง นอกจากนี้ยังพบว่ามีเชื้อแกรมบวก (Gram positive Geneva) เช่น *Kurthia and Corynebacterium* ปนเปื้อนด้วย สำหรับเชื้อในกลุ่ม enterobacteriaceae จะพบใน 7% ของตัวอย่างน้ำดื่ม จากการประเมินความเสี่ยงของพวก heterotrophic bacteria แสดงให้เห็นว่าเชื้อที่พบส่วนใหญ่เป็นสายพันธุ์ที่ดื้อยา ampicillin, nalidixic acid, novobiocin and oxytetracycline ในขณะที่น้ำดื่มบรรจุขวดเป็นสินค้าที่พร้อมดื่มหากมีการปนเปื้อน heterotrophic bacteria ในปริมาณสูงและดื้อต่อยาหลายชนิดแล้วอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้โดยเฉพาะผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง

H. Nsanze *et al* (1999) ได้ทำการศึกษาคุณภาพทางชีวภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดใน UAE และวิธีการเก็บรักษาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยทำการศึกษาตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 80 ตัวอย่างจากการผลิตใน 4 บริษัทพบว่า 75% ในถังน้ำดื่มขนาด 20 ลิตร มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรียถึง 10 ชนิด และพบว่า 10-40% ของขวดน้ำดื่มขนาด 1.5 ลิตร มีการปนเปื้อนเชื้อแบคทีเรีย 2-4 ชนิด ตรวจพบ Heterotrophic bacteria และเชื้อ 2-3 ชนิดที่เป็นเชื้อแบคทีเรียที่มาจากคน เชื้อที่พบในน้ำส่วนมากเป็นชนิด Acinetobacter Iwoffii หลายจีโนไทปี้ การเก็บรักษาน้ำดื่มไว้ที่อุณหภูมิ 4°c จะทำให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่เจริญเติบโตในขณะที่จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 25-37°c และที่ 42°c สามารถทำลายเชื้อที่ปนเปื้อนได้ดี ส่วนแหล่งกำเนิดของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำดื่มและผลเสียจากเชื้อเหล่านี้ยังไม่มีข้อสรุปที่แน่ชัด

L. Fewtrell *et al.* (1998) ได้ทำการศึกษาคุณภาพทางชีวภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดซึ่งเป็นเครื่องดื่มที่ขายดีที่สุดในทวีปยุโรป (van Musschenbroek, 1995) ซึ่งสามารถขายได้สูงสุดถึง 700 ล้านลิตรในปี 1994 สำหรับในสหราชอาณาจักร (Natural Mineral water) กรมสิ่งแวดล้อมของ สหราชอาณาจักร ได้มีโครงการประเมินอัตราเสี่ยงจากการบริโภคน้ำดื่มจากแหล่งน้ำทั้งหมดในการสำรวจคุณภาพทางชีวภาพน้ำดื่มบรรจุขวดที่ขายในร้านค้าในจำนวนน้ำดื่มทั้งหมด 17 ยี่ห้อที่แตกต่างกัน (ทั้งน้ำแร่ธรรมชาติและน้ำดื่มอื่น ๆ) ซึ่งบรรจุในภาชนะที่แตกต่างกัน (พลาสติกใส พลาสติกขุ่นมัว ขวดแก้วใสและขวดแก้วสี) โดยทำการตรวจสอบนับจำนวน colony ทั้งหมดที่เพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 22°C และ 37°C การตรวจหาโคลิฟอร์มทั้งหมดเชื้อ *Eacherichia coli, Pseudomonas aeruginosa,* aeromonade, faecal streptococci และ sulphite-reducing clostridia. โดยน้ำดื่มบรรจุขวดที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้สั่งซื้อจากตัวแทนจำหน่ายหลาย ๆที่และในวันที่ที่แตกต่างกัน

14. กรอบแนวคิด

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาดังนี้



ภาพที่ 7 กรอบแนวคิดการวิจัย