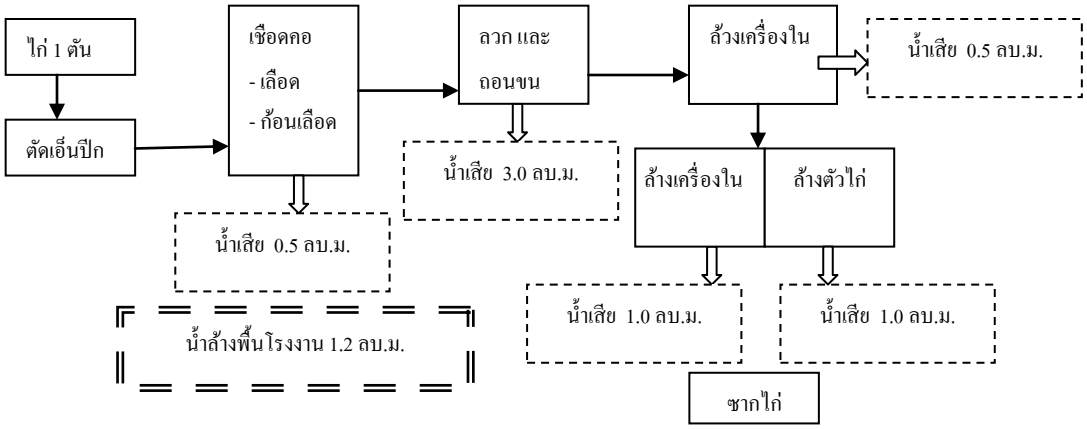
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมฆ่าแหละชำแหละไก่ในประเทศไทย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

กระบวนการผลิตของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ พบว่าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. กระบวนการฆ่าไก่และชำแหละแต่ไม่ตัดแต่ง เป็นกระบวนการผลิตของโรงงานขนาดเล็กในประเทศไทย จะมีกำลังการผลิตต่ำกว่า 5,000 ตัวต่อวัน และดำเนินกิจการในลักษณะธุรกิจครัวเรือน โดยใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ ผลผลิตที่ได้จะส่งจำหน่ายภายในพื้นที่ใกล้เคียงเท่านั้น และจะไม่มีการตรวจสอบความสะอาดของผลิตภัณฑ์ก่อนไก่ที่ถูกส่งมาฆ่าจะตัดเอ็นที่ปีกเพื่อป้องกันการดิ้นหรือบินหนี จากนั้นแผนกเชือดจะทำการเชือดคอ เลือดที่ได้จะใส่ชามสังกะสีรองเก็บไว้ ส่วนตัวสัตว์จะถูกส่งลงไปในกระทะน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 53.3-62.8 องศาเซลเซียส และกระทะน้ำเย็นตามลำดับ เพื่อให้ถอนขนง่าย โรงฆ่าและชำแหละไก่ขนาดเล็กส่วนใหญ่จะใช้เครื่องถอนที่มีลักษณะเป็นถังกลม และภายในมีนิ้วยาง ภายหลังการถอนขนไก่จะถูกนำออกมาล้างเพื่อกำจัดขนอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นจะทำการล้วงเครื่องใน ล้างตัวไก่ และจำหน่ายสู่ท้องตลาด น้ำเสียเกิดขึ้นจากการผลิตในแต่ละขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.1 น้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการมีปริมาตร 7.2 ลบ.ม. ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำในโรงฆ่าและชำแหละไก่ขนาดเล็กมีการใช้น้ำสะอาดสำหรับการเชือดคอ การลวกและถอนขน การล้างเครื่องในและตัวไก่ หากน้ำทิ้งผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้ว อาจจะสามารถหมุนเวียนใช้น้ำที่ผ่านการบำบัดในกระบวนการล้างพื้นโรงงาน ในที่นี้การหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดมาใช้จะสามารถลดการใช้น้ำได้ 1.2 ลบ.ม.ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน หรือคิดเป็น 16.7 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำใช้ในการผลิต



รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการชำแหละไก่ของโรงงานขนาดเล็ก

(ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2551)

2. กระบวนการฆ่าไก่และชำแหละแบบมาตรฐาน เป็นกระบวนการผลิตของโรงงานขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มักจะเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกยังต่างประเทศ จึงต้องมีการควบคุมดูแลในด้านความสะอาดอย่างเข้มงวด การปฏิบัติงานในโรงงานทั้งหมดจะต้องเป็นไปตามข้อบังคับของกรมปศุสัตว์ ซึ่งปัจจุบันจะยึดถือตามข้อบังคับที่ประกาศใช้ในปี พ.ศ. 2535 โดยกระบวนการฆ่าไก่และชำแหละแบบมาตรฐาน เริ่มตั้งแต่การรับไก่มีชีวิตเข้าสู่โรงฆ่า (Live poultry receiving) การพักไก่ (Resting) การทำให้สลบ (Stunning) การเชือด (Killing) การลวกและถอนขน (Scalding and defeathering) การล้างเอาเครื่องในออกจากซาก (Evisceration) การล้างซาก (Inside-outside washing) การลดอุณหภูมิซากด้วยถังน้ำเย็น (Immersion chilling) และการชำแหละ ตัดแต่งซาก (Deboning and cutting) รายละเอียดกระบวนการฆ่าไก่และชำแหละแบบมาตรฐานสามารถอธิบายได้ดังนี้

- การรับและการแขวนไก่โดยทั่วไปไก่ที่ถูกนำมาเชือดจะมีน้ำหนักประมาณ 1.8-2.6 กิโลกรัม อายุประมาณ 6-8 สัปดาห์ จะต้องให้อดอาหารเป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง เมื่อไก่ถูกส่งมาถึงโรงงานควรจะให้ไก่พักระยะหนึ่งเพื่อให้ไก่สงบลง จากนั้นนำไก่มาชั่งน้ำหนัก แล้วจึงนำขึ้นแขวนแล้วฉีดน้ำให้ไก่เปียก ก่อนจะนำเข้าสู่เครื่องช็อตไฟฟ้า เพื่อทำให้ไก่สลบ และส่งเข้าห้องเชือดต่อไป

- การเชือดและการรวบรวมเลือดไก่ที่ถูกช็อตด้วยไฟฟ้า เพื่อทำให้สลบแล้ว จะถูกเคลื่อนที่ไปพร้อมกับราวผ่านเข้าสู่ห้องเชือดไก่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ไก่ที่ผ่านการเชือดจะเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางหนึ่งเพื่อให้เลือดไก่ไหลออกจนหมด ซึ่งใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที เลือดไก่จะไหลรวมกันไปบนรางสแตนเลส แล้วถูกถ่ายลงสู่ถ้วยใบเล็ก และผ่านไอน้ำเพื่อทำให้เลือดจับตัวเป็นก้อน จากนั้นจะนำไปต้มในสารละลายเกลือเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วล้างด้วยน้ำ รวบรวมและส่งขาย

รูปที่ 2.2 การเชือดสัตว์ (ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2551)

- การลวกและการถอนขนไก่ที่ผ่านการเชือดแล้วจะถูกส่งผ่านลงในถังลวกไก่ที่มีอุณหภูมิ 53.3-62.8 องศาเซลเซียส ประมาณ 1-2 นาที เพื่อให้สามารถถอนขนไก่ได้ง่าย ไก่ที่ลวกแล้วจะถูกป้อนอย่าง

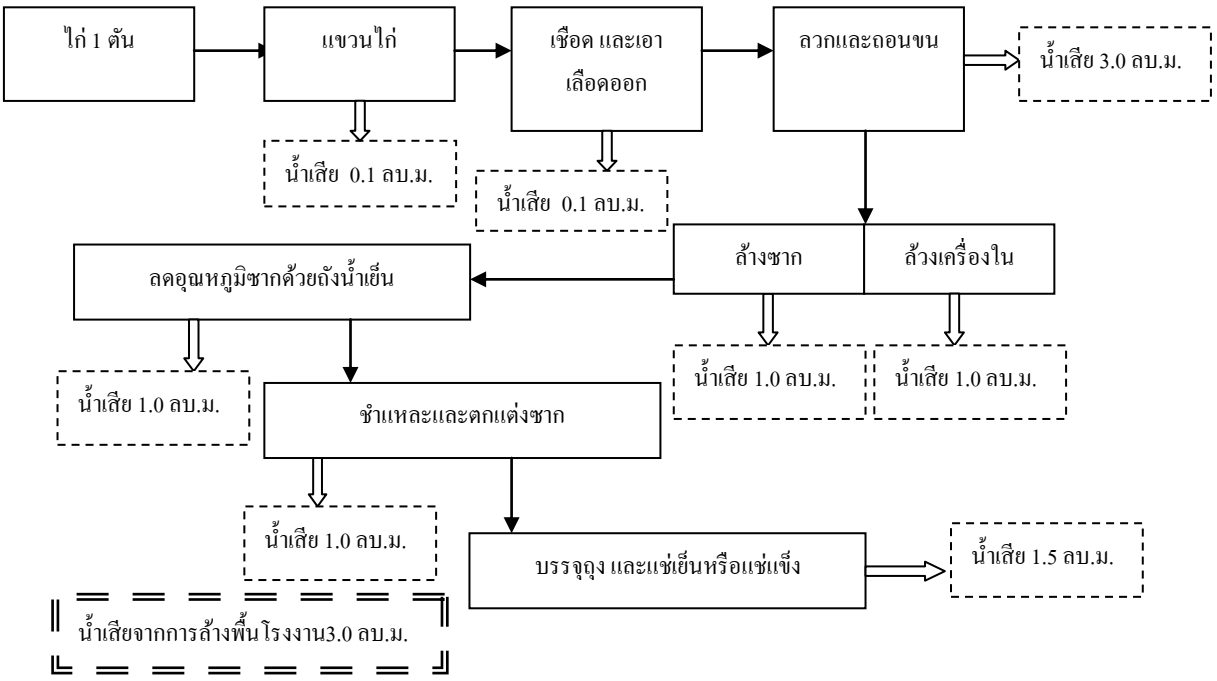
ต่อเนื่องเข้าไปในเครื่องถอนขนไก่ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 ชนิด คือ เครื่องถอนขนที่มีลักษณะเป็นถังกลมภายในบรรจุยางคล้ายนิ้ว ทำหน้าที่ปัดขนออกจากตัวไก่ รอบตัวเครื่องจะเป็นรูกลมเพื่อให้ขนไก่ที่ถูกดึงหลุดออกจากเครื่อง ขณะที่ถอนขนไก่เครื่องจะหมุนวนเป็นรอบๆ เพื่อให้นิ้วยางสัมผัสตัวไก่มากที่สุด โรงงานที่ใช้เครื่องถอนขนไก่ชนิดนี้จะต้องปลดไก่ออกจากราว หลังจากการลวกแล้วลงใส่ในเครื่องถอนขน และขณะที่เครื่องถอนขนทำงานจะฉีดน้ำล้างตัวไก่และเครื่อง เพื่อไล่ขนออกให้มากที่สุด และเครื่องถอนขนที่มีลักษณะเป็นห้องที่ผนังบรรจุยางคล้ายนิ้วที่มีความยาวแตกต่างกันเพื่อทำหน้าที่ปัดขนไก่ออกจากตัวไก่ ไก่จะยังคงแขวนมาตามราวภายหลังจากขั้นตอนการลวก เมื่อราวไก่ผ่านเข้าเครื่องขนจะถูกปัดลงสู่พื้น ส่วนตัวไก่จะผ่านเข้าเครื่องล้างตัว เพื่อกำจัดขนที่ติดมาอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนการถอนขนไก่แสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 กระบวนการถอนขนไก่ (ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2551)

- การแยกเครื่องในและล้างซากไก่ที่ผ่านกระบวนการถอนขนแล้วจะถูกนำเข้าสู่ห้องชำแหละ เริ่มจากการตัดหัวไก่ ควักไส้และเครื่องในออก แต่ละส่วนจะถูกแยกจากกัน ล้างทำความสะอาด และรวบรวมใส่ภาชนะเพื่อบรรจุและส่งออกจำหน่าย หลังจากไก่ถูกควักไส้และเครื่องในออกแล้วจะทำความสะอาดตัวไก่อีกครั้ง โดยเป็นการล้างทั้งด้านในและด้านนอกตัวไก่ การล้างด้านในตัวไก่จะใช่ท่อน้ำฉีดล้าง ส่วนการล้างด้านนอกจะใช้เครื่องล้างด้วยความดันก่อนจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการแช่เย็น ไก่จะถูกตัดขาเพื่อปลดตัวไก่ลงสู่ถังแช่เย็น และส่วนขาไก่จะถูกนำไปแยกเอาหนังเหลืองออก

- การแช่เย็นภายหลังจากที่ไก่ถูกตัดขาแล้ว ตัวไก่จะตกลงสู่เครื่องแช่เย็น (Chilling machine) ซึ่งมีน้ำผสมน้ำแข็ง อุณหภูมิประมาณ 0 องศาเซลเซียส ไก่จะถูกลดอุณหภูมิลงจนเหลือ 4 องศาเซลเซียส เมื่อใช้ระยะเวลาอยู่ในถังแช่เย็นประมาณ 40 นาที ทั้งนี้ต้องควบคุมให้น้ำเย็นในถังแช่เย็นมีคลอรีนตกค้าง (residual chlorine) ประมาณ 20-50 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ปนมากับไก่

- การตัดแต่งในกรณีที่เป็นไก่ส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ ซึ่งต้องการขายในรูปเนื้อไก่สด เช่น ส่วนอกไก่ น่องไก่ ปีกไก่ เป็นต้น ก็จะทำการตัดแต่งเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนเหล่านี้ จากนั้นจะบรรจุลงในถุงพลาสติกปิดผนึกภายใต้สุญญากาศ และนำเก็บไว้ในห้องแช่แข็ง อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นาน 1-2 ชั่วโมง และส่งต่อไปเก็บในห้องแช่แข็งที่มีอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนการส่งออกต่อไป น้ำเสียเกิดขึ้นจากการผลิตในแต่ละขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.4



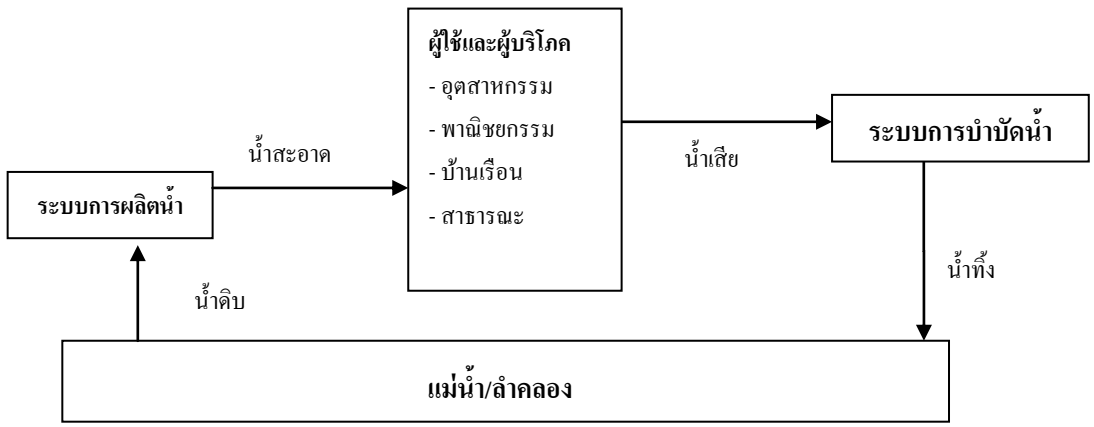
รูปที่ 2.4 แผนผังขั้นตอนการชำแหละไก่แบบมาตรฐาน
(ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2551)

การชำแหละไก่แบบมาตรฐานมีน้ำเสียเกิดขึ้น 12 ลบ.ม. ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน น้ำส่วนไม่ที่สัมผัสกับเนื้อไก่และเครื่องในไก่ที่ใช้เป็นอาหารมีเพียงน้ำล้างพื้นเท่านั้น หากสามารถหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ในการล้างพื้นจะประหยัดนำได้ 3.0 ลบ.ม. ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน หรือคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำใช้ทั้งหมด

2.2 เกณฑ์มาตรฐานการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Water reuse, Water reclamation) (CDM Smith Inc,2012)

โรงงานฆ่าและชำแหละไก่แบบมาตรฐานมีการใช้ทรัพยากรน้ำเป็นปริมาณมาก และมีปริมาณน้ำทิ้งค่อนข้างสูง กว่าโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ขนาดเล็กแต่อย่างไรก็ตาม การใช้น้ำนั้นเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัยของการผลิตอาหาร ซึ่งการลดปริมาณของน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนั้นอาจส่งผลต่อคุณภาพของอาหารได้ ดังนั้นเพื่อให้โรงงานฆ่าและชำแหละไก่ใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่า การบำบัดน้ำทิ้งแล้วหมุนเวียนน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดนี้กลับมาใช้ใหม่ จะทำให้ใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าและลดการทำลายสิ่งแวดล้อม โดยรูปแบบของการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การนำน้ำกลับมาใช้ทางอ้อม (Indirect Reuse) น้ำทิ้งหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดแล้วน้ำทิ้งจะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ การนำน้ำกลับมาใช้ทางอ้อม คือ นำน้ำจากแหล่งน้ำที่ปนเปื้อนด้วยน้ำทิ้งมาผ่านกระบวนการบำบัด เพื่อผลิตเป็นน้ำอุปโภคและบริโภค แล้วจ่ายไปสู่ผู้ใช้ต่อไป หลังจากเมื่อใช้แล้วน้ำก็จะกลายเป็นน้ำเสียที่ต้องได้รับการบำบัดก่อนที่จะทิ้งกลับลงสู่แหล่งน้ำ วิธีการนี้จะไม่ได้ช่วยประหยัดทางเศรษฐกิจ และลดปริมาณน้ำทิ้งหรือจำนวนมลพิษ ในขณะเดียวกันน้ำทิ้งและมลพิษส่วนหนึ่งก็ยังคงถูกหมุนเวียนมาใช้ใหม่อีกด้วย ผังการนำน้ำกลับมาใช้ทางอ้อม แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การนำน้ำกลับมาใช้ทางอ้อม (ที่มา : CDM Smith Inc, 2012)

2. การนำน้ำกลับมาใช้โดยตรง (Direct Reuse) วิธีการนี้เป็นการเก็บกักน้ำทิ้งเอาไว้ใช้ประโยชน์โดยไม่ทิ้งออกไปสู่ภายนอก ซึ่งจะส่งผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และลดปริมาณน้ำทิ้งหรือจำนวนมลพิษ

ได้มากที่สุด แต่น้ำทิ้งจะต้องผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมกำหนด (ภาคผนวก ก.1) น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

- การใช้น้ำทิ้งสำหรับการรดสนามหญ้า และสวนหย่อม (Effluent Reuse for Landscaping Irrigation) การใช้น้ำทิ้งสำหรับการรดสนามหญ้าและสวนหย่อมนี้ได้รับความนิยมกันมากในต่างประเทศ โดยเฉพาะสหรัฐอเมริกา ตัวอย่างของสถานที่เหล่านี้คือ สนามกอล์ฟ สวนสาธารณะ ต้นไม้ และดอกไม้ตามถนนสาธารณะ เป็นต้น การใช้น้ำทิ้งในวิธีนี้ก็ต้องคำนึงถึงความเข้มข้นของสารต่างๆ คล้ายคลึงกับน้ำทิ้งที่ใช้ในการกสิกรรมจะแตกต่างจากมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการกสิกรรมเพียงเล็กน้อยโดยเฉพาะพวกแบคทีเรียชนิด ฟีคอลโคลิฟอร์ม (fecal coliforms) มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการรดสนามหญ้าและสวนหย่อมแสดงไว้ในภาคผนวก ก.2

- การใช้น้ำทิ้งสำหรับการก่อสร้าง (Effluent Reuse for Construction) การนำน้ำทิ้งมาใช้ในการก่อสร้างนั้น สามารถนำมาใช้ในการผสมคอนกรีต การรดน้ำเพื่อป้องกันฝุ่นละอองในบริเวณการก่อสร้างหรือการรดน้ำเพื่อเพิ่มเติมความชื้นในการสร้างถนน เป็นต้น มาตรฐานน้ำทิ้งชนิดนี้ยังไม่ได้รับการกำหนด แต่คุณสมบัติหลักที่ควรพิจารณาก่อนนำมาใช้ คือ พีเอชควรจะอยู่ระหว่าง 6.0-9.0 ถ้าค่าพีเอชต่ำเกินไปจะมีผลเสียต่อความแข็งแกร่งของคอนกรีต สารคลอไรด์มีค่าต่ำกว่า 1,000 มก./ล. เนื่องจากค่าคลอไรด์ที่สูงกว่า 1,000 มก./ล. จะทำให้น้ำกร่อย ซึ่งความเค็มจะมีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต ทีดีเอสต้องมีค่าต่ำ ถ้าทีดีเอส สูงเกินไป (2,000 -5,000 มก./ล.) ก็อาจจะมีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีตเช่นกัน สารแขวนลอยและความขุ่นมีค่าต่ำ ถ้าน้ำมีสิ่งสกปรกเจือปนทำให้มีสารแขวนลอย และความขุ่นสูง มากกว่า 30 มก./ล. และ 10 NTU ตามลำดับ ก็จะไม่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต และน้ำมันและไขมันในน้ำ ถ้าในน้ำมีน้ำมันและไขมันเจือปนอยู่ก็จะไม่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตเช่นกัน เพราะจะลดความแข็งแรงของคอนกรีต

- การใช้น้ำทิ้งสำหรับด้านกสิกรรม (Effluent Reuse for Agricultural Irrigation) การใช้น้ำทิ้งสำหรับการกสิกรรมนั้นให้ผลประโยชน์หลายอย่างพร้อมกัน คือน้ำทิ้งปกติจะมีคุณค่าของปุ๋ย เช่น สารไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งจะช่วยเสริมการเจริญเติบโตของพืช และเมื่อน้ำไหลซึมผ่านดินก็ถือเป็นการกรองน้ำอีกครั้งก่อนลงสู่น้ำบาดาล ส่วนผลเสียของการใช้น้ำทิ้งก็มี เช่น ถ้าน้ำนั้นได้รับการบำบัดไม่ถูกต้องก็อาจจะมีเชื้อโรคหรือสารอันตรายเจือปนอยู่โดยเฉพาะพวกสารโลหะหนักซึ่งจะแทรกซึมเข้าไปในพืชได้และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับการกสิกรรมแสดงไว้ในภาคผนวก ก.3

- การใช้น้ำทิ้งเพื่อเลี้ยงสัตว์เลี้ยง (Effluent Reuse for Livestock) น้ำทิ้งที่ใช้ในการเลี้ยงสัตว์เลี้ยงจำเป็นต้องคำนึงถึงสารเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น คลอไรด์ซัลเฟตไบคาร์บอเนต โซเดียม เป็นต้น จะทำให้ค่าทีดีเอสในน้ำสูง ค่าทีดีเอสเท่ากับ 1,000 มก./ล. นั้น ค่อนข้างจะปลอดภัยสำหรับสัตว์เลี้ยง แต่ถ้าค่าทีดีเอสสูงกว่า 1,000 มก./ล. อาจจะมีปัญหาต่อระบบย่อยอาหารของสัตว์ มาตรฐานน้ำทิ้งชนิดนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.4

- การใช้น้ำทิ้งเลี้ยงสัตว์น้ำ (Effluent for Aquatic Environments) น้ำทิ้งชนิดนี้อาจจะมีการปล่อยลงในบึงเลี้ยงสัตว์น้ำหรือแม่น้ำลำคลอง คุณภาพของน้ำทิ้งจะต้องดีไม่ทำให้เกิดการรังเกียจ ไม่ควรจะมีคลอรีนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรคหลงเหลืออยู่ เพราะคลอรีนเป็นอันตรายต่อชีวิตของสัตว์น้ำบางอย่าง โดยเฉพาะสัตว์น้ำที่ยังเยาว์วัยอยู่ พวกสารโลหะหนักและพวกยาฆ่าแมลงก็อาจจะมีผลต่อชีวิตของสัตว์น้ำส่วนใหญ่ มาตรฐานของน้ำทิ้งชนิดนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.5

- การใช้น้ำทิ้งปล่อยลงในบึงสาธารณะ (Effluent for Recreation Use) บึงสาธารณะ หมายถึง บริเวณหรือสถานที่ที่ชุมชนใช้ในการอาบน้ำ ว่ายน้ำ พายเรือเล่น และตกปลา เป็นต้น น้ำทิ้งที่ใช้ในบึงสาธารณะนี้จะต้องมีคุณภาพค่อนข้างดี ใสสะอาด ไม่มีสีหรือกลิ่นและต้องเป็นน้ำที่ปลอดภัยปราศจากเชื้อโรค ค่าพีเอชจะต้องเหมาะสมไม่ทำให้ระคายเคืองตา มาตรฐานของน้ำทิ้งปล่อยเติมลงในบึงสาธารณะแสดงไว้ในภาคผนวก ก.6 และภาคผนวก ก.7

- การใช้น้ำทิ้งปล่อยเติมลงในน้ำบาดาล (Effluent Reuse for Groundwater Recharge) จุดประสงค์ในการปล่อยเติมน้ำทิ้งลงในน้ำบาดาล คือ การเติมเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำทะเลหนุนเข้ามาในชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำจืดได้ โดยเฉพาะชั้นน้ำบาดาลตามบริเวณชายฝั่งทะเล การเติมเพื่อป้องกันไม่ให้พื้นดินทรุดตัว และการเติมเพื่อเพิ่มแหล่งน้ำสำหรับการใช้และการบริโภคการเติมน้ำทิ้งลงในน้ำบาดาลจะมีผลทางจิตวิทยาอีกอย่างหนึ่ง คือ ผู้ใช้มักจะไม่ค่อยรังเกียจหรือไม่คิดว่าเป็นน้ำทิ้ง การปล่อยเติมน้ำทิ้งลงในชั้นน้ำบาดาล อาจจะทำได้โดยการปล่อยน้ำทิ้งลงในบึงหรือคลองไหลวนเวียนที่สร้างขึ้นมาและปล่อยน้ำทิ้งไหลซึมลงไปตามธรรมชาติ วิธีนี้เหมาะสำหรับระดับน้ำบาดาลที่ไม่ค่อยลึกมากนัก ส่วนบริเวณพื้นที่มีที่ดินเหนียวเป็นองค์ประกอบสูงจะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมต่ำ หรือแหล่งน้ำบาดาลที่ระดับน้ำอยู่ลึกเกินไป ก็ต้องใช้วิธีใช้เครื่องสูบน้ำเพื่อสูบอัดลงไปโดยตรง คุณภาพของน้ำทิ้งที่จะปล่อยเติมลงไปในน้ำบาดาลนั้นจะต้องคำนึงถึงการปลอดเชื้อโรค มีค่าทีดีเอสต่ำ มีพวกโลหะหนักต่ำ และปราศจากจุลินทรีย์ มาตรฐานของน้ำทิ้งที่จะปล่อยเติมในน้ำบาดาลแสดงไว้ในภาคผนวก ก.8

- การใช้น้ำทิ้งหมุนเวียนใช้ใหม่ในโรงงานอุตสาหกรรม (Effluent for Industrial Reuse) โรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งหนึ่งที่ก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมาก การนำเอาน้ำทิ้งมาหมุนเวียนใช้ใหม่

จะช่วยลดจำนวนน้ำทิ้งที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มาก และทั้งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตด้วย น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสามารถที่จะนำมาหมุนเวียนใช้ได้หลายอย่าง เช่น ใช้ในการลดความร้อนของระบบปรับอากาศ น้ำหล่อเย็น น้ำป้อนหม้อต้มไอน้ำ น้ำใช้ในระบบการผลิต น้ำใช้สำหรับการทำความสะอาด น้ำใช้ในระบบป้องกันไฟไหม้ น้ำสำหรับรดสนามหญ้าและสวนหย่อมภายในโรงงาน เป็นต้นน้ำทิ้งที่จะนำมาใช้เป็นน้ำใช้ในหม้อต้มไอน้ำและน้ำใช้ในระบบการผลิตนั้นไม่ควรจะมีน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำโสโครกเจือปนโดยเฉพาะน้ำใช้ในระบบการผลิตซึ่งจะล้างหรือผสมผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพราะมีผลกระทบทางด้านจิตวิทยาต่อผู้ใช้หรือผู้บริโภคและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำโสโครกนั้นมีพวกแบคทีเรียและจุลินทรีย์บางอย่างเจือปนอยู่จะทำให้เกิดผลเสียต่อกระบวนการผลิตได้ส่วนน้ำที่ใช้เป็นน้ำเติมในหม้อต้มไอน้ำและน้ำใช้ในระบบการผลิตนั้น ควรผ่านการกรองเพื่อแยกของแข็งแขวนลอย และอนุภาคของสารต่างๆ ซึ่งจะทำให้น้ำมีคุณภาพค่อนข้างดีขึ้นอาจจะนำมาหมุนเวียนมาใช้อย่างไม่น่ามีข้อรังเกียจ สำหรับน้ำทิ้งที่จะนำมาใช้ในหอหล่อเย็นนั้น ต้องคำนึงถึงปัญหา 3 อย่าง คือ การเกิดตะกรันการเกิดสนิม และการเกิดตะไคร่น้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของระบบแลกเปลี่ยนความร้อน มาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับใช้ในระบบหม้อต้มไอน้ำและในหอหล่อเย็นแสดงไว้ในภาคผนวก ก.9

- การนำน้ำทิ้งมาใช้ดื่มและบริโภค (Effluent for Potable Use) การนำน้ำทิ้งมาใช้ดื่มและบริโภคโดยตรงนั้น ตอนนี้ยังเป็นแค่ความคิดและมีการทดลองอยู่บ้างในสหรัฐอเมริกา แต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับของคนส่วนใหญ่ เพราะความคิดของคนจะฝังแน่นถึงความรังเกียจที่นำเอาน้ำโสโครก หรือน้ำเสียกลับมาใช้ดื่มอีก ซึ่งความจริงแล้วน้ำทิ้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ 2-3 ขั้นตอนนั้น จะเป็นน้ำที่เกือบจะบริสุทธิ์สามารถที่จะใช้ดื่มและบริโภคได้โดยไม่เป็นพิษหรือเป็นอันตรายต่อร่างกาย วิธีใช้น้ำทิ้งแบบนี้จำเป็นจะต้องรอต่อไปอีกจนกว่าจะมีการขาดแคลนน้ำจืดอย่างรุนแรงในอนาคต แล้วบางทีคนส่วนใหญ่อาจจะเปลี่ยนความคิดมายอมรับก็เป็นได้โดยมาตรฐานของน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้และมาตรฐานของน้ำดื่มและบริโภคแสดงไว้ในภาคผนวก ก.10 และภาคผนวก ก.11

2.3 วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำที่เป็นมาตรฐานสากลขั้นตอนแรกต้องพิจารณาถึงประเภทของแหล่งน้ำที่ต้องดำเนินการเช่น น้ำเสีย/น้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ หรือแหล่งรองรับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งในแต่ละแหล่งน้ำนั้น มีวิธีการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำจะแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

- การเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) คือการเก็บตัวอย่างจุดละ1 ตัวอย่างในเวลาที่กำหนดไว้โดยเฉพาะ การเก็บแบบนี้ตัวอย่างจะเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำเฉพาะเวลาและเฉพาะจุดที่เก็บเท่านั้น เช่น ตัวอย่างน้ำประปา น้ำผิวดิน และน้ำบ่อ เป็นต้น

- การเก็บแบบผสมรวม (Composite sampling) คือ การเก็บตัวอย่างแบบจ้วง แล้วนำมาผสมกันโดยเก็บจากจุดเดียวกันแต่เวลาต่างกัน เป็นการเฉลี่ยความเข้มข้นของตัวอย่าง ณ จุดเก็บ ในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งตามมาตรฐานมักใช้ช่วงเวลาเก็บ 24 ชั่วโมงและถือว่าตัวอย่างรวมนี้เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำนั้น การเก็บตัวอย่างแบบผสมรวมนี้มักใช้เก็บตัวอย่างน้ำที่มีสภาพทางเคมี และกายภาพไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา เนื่องมาจากกิจกรรมที่ปฏิบัติเช่น น้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย และน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน เป็นต้น

- การเก็บแบบผสมรวมแต่ละจุดเก็บ (Integrated sampling) คือการเก็บตัวอย่างแบบจ้วงของแต่ละจุดเก็บแล้วนำมาผสมกัน การเก็บตัวอย่างแบบนี้เป็นตัวแทนของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตทั้งหมดของโรงงานในช่วงเวลาเดียวกัน

ในการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำภาคสนาม โดยเฉพาะคุณภาพของน้ำทั้งก่อนและหลังบำบัด จำเป็นต้องใช้การประมาณค่า (Estimation) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างมาประมาณ ค่าพารามิเตอร์ของประชากร แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ (นภาพร อุทยาน วุฒิกุล, 2552)

- การประมาณค่าแบบจุด (Point Estimation) คือ การประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรด้วยค่าใดค่าหนึ่งเพียงค่าเดียว ค่าประมาณแบบจุดของค่าเฉลี่ยประชากร μ คือค่าเฉลี่ยตัวอย่าง $\overline{X}$ ซึ่ง $\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n}X_i}{n}$ เมื่อ n เป็นจำนวนตัวอย่างและ X_i เป็นตัวอย่างที่ i

- การประมาณค่าแบบช่วง (Interval Estimation) เป็นการประมาณค่าพารามิเตอร์ของประชากรด้วยค่าที่เป็นช่วง ซึ่งจะมีความแม่นยำกว่าการประมาณค่าแบบจุดการประมาณค่าแบบช่วงจะประมวลค่าประมาณที่สูงสุดและ/หรือค่าประมาณต่ำสุด เช่น $8\le\mu\le12$ หรือ $\sigma^2\ge6$

- การประมาณค่าแบบช่วง (Interval Estimation)ค่าประมาณแบบช่วงของพารามิเตอร์ θ จะอยู่ในรูป $L\le\theta\le U$ โดยที่ L เป็นขีดจำกัดความเชื่อมั่นด้านล่าง และ U เป็นขีดจำกัดความเชื่อมั่นด้านบนการประมาณค่าแบบช่วงจะต้องมีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่ค่าพารามิเตอร์ของประชากรจะมีค่าอยู่ในช่วงที่สร้างขึ้นจากตัวอย่าง ค่าความน่าจะเป็นนี้คือ ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) คือ เมื่อ $P(L\le\theta\le U)=1-\alpha$ ซึ่ง $0<\alpha<1$ จะกล่าวได้ว่าค่า $1-\alpha$ คือ ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่

ค่าพารามิเตอร์ของประชากร θ จะตกอยู่ระหว่างค่า L และค่า U โดยที่ $L \le \theta \le U$ แสดงช่วงความเชื่อมั่น $(1-\alpha)$หาก ช่วง $L \le \theta \le U$ จะแสดงความเชื่อมั่นแบบสองด้าน หากช่วง $L \le \theta$ และ $\theta \le U$ จะแสดงความเชื่อมั่นแบบด้านเดียว ในกรณีที่ช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของประชากรเดียว (μ) เมื่อประชากรมีการแจกแจงแบบปกติและไม่ทราบความแปรปรวนประชากร (σ^2) ถ้าขนาดตัวอย่าง n มีค่าตั้งแต่ 30 ขึ้นไป ($n \ge 30$) จะใช้การทดสอบทางสถิติแบบ z ในการหาช่วงความเชื่อมั่น หากขนาดตัวอย่าง n มีค่าน้อยกว่า 30 ($n < 30$) จะใช้การทดสอบทางสถิติแบบt ในการประเมินค่าในช่วงความเชื่อมั่นที่กำหนด

สำหรับการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ จะมีข้อมูลที่ไม่ทราบค่า คือ ความแปรปรวนประชากร σ^2 ดังนั้นในการสร้างช่วงความเชื่อมั่น จึงใช้ค่าความแปรปรวนตัวอย่าง S^2 ซึ่งแบบออกเป็น 2 กรณี คือ

ในกรณี $n \ge 30$ ช่วงความเชื่อมั่น 100(1 – α) % ของค่าเฉลี่ยประชากร μ แบบสองด้านหาได้จาก

$$\overline{X} + Z_{\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X} + Z_{-\alpha/2}\frac{S}{\sqrt{n}}$$

ในกรณี $n < 30$ ช่วงความเชื่อมั่น 100(1 – α) % ของค่าเฉลี่ยประชากร μ แบบสองด้านหาได้จาก

$$\overline{X} + t_{\alpha/2,n-1}\frac{S}{\sqrt{n}} \le \mu \le \overline{X} + t_{-\alpha/2,n-1}\frac{S}{\sqrt{n}}$$

สำหรับช่วงความเชื่อมั่น 100(1–α)% ของค่าเฉลี่ยประชากร μ แบบด้านเดียวหาได้จาก $\mu \le \overline{X} + t_{\alpha,n-1}\frac{S}{\sqrt{n}}$ สำหรับด้านบนด้านเดียวและ $\mu \ge \overline{X} - t_{\alpha,n-1}\frac{S}{\sqrt{n}}$ สำหรับด้านล่างด้านเดียว

2.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในการนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (วิบูลย์ลักษณ์ ศุภเอม, 2551)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้มีอยู่หลายวิธี โดยในแต่ละวิธีนั้นก็จะมีรูปแบบและจุดประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่แตกกันออกไปสามารถอธิบายได้เป็นดังนี้

2.4.1 การกรองน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การกรองน้ำแบบนี้จะใช้หลักการเกาะหรือดูดติดผิว (Adsorption) ซึ่งจัดเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass Transfer) จากของเหลวหรือก๊าซมายังผิวของแข็ง โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของ Adsorbate เรียกว่า Adsorbent การเกาะจับของโมเลกุลบนผิว

ของสารอาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น Van Der Waals Force หรือ แรงเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน แต่โดยทั่วไปแล้วจะเกาะดูดติดด้วยแรงทางกายภาพเป็นส่วนใหญ่ การดูดติดผิวสามารถกำจัดมลสารที่มีขนาดเล็กจนถึงชั้นโมเลกุล ซึ่งไม่อาจกำจัดได้ด้วยวิธีตกตะกอน หรือการกรองแบบธรรมดา ประเภทของสารดูดติดผิวแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- ประเภทสารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆแมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูกแอ็คติเว้ตเต็ดซิลิกา และอื่นๆข้อเสียของสารประเภทนี้ คือ จับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด ทำให้การใช้ประโยชน์จากสารดูดติดผิวประเภทสารอนินทรีย์มีจำกัดมาก

- ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นถ่านที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากที่สุดด้วยการทำให้มีรูพรุนหรือโพรงภายในเนื้อคาร์บอน โดยนำไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 750-950 องศาเซลเซียส ภายใต้ความชื้นที่เหมาะสม วัตถุดิบที่ใช้สังเคราะห์ถ่านกัมมันต์ มีหลายชนิด เช่น กระดูกสัตว์ ถ่านหินบางชนิด กะลามะพร้าว เมล็ดในของผลไม้บางชนิด ซึ่งปัจจุบันนี้ พบว่า สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ หนัก 1 กรัม มีพื้นที่ผิวประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร

- ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ได้แก่สารเรซินแลกเปลี่ยนอิออน (Ion Exchange Resin) ชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ สารเรซินเหล่านี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งถือว่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับของถ่านกัมมันต์ แต่อย่างไรก็ตาม เรซินมีข้อดีคือสามารถรีเจนเนอเรตได้ และสารรีเจนเนอแรนต์มีราคาถูก เช่น เกลือแกง

ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่ได้รับความนิยม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้ส่วนใหญ่มีลักษณะ 2 แบบ ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์แบบผง (Powder Activated Carbon หรือ PAC) มีขนาดประมาณ 10-50 ไมครอนหรือน้อยกว่า การเติมถ่านกัมมันต์แบบผงอาจทำพร้อมกับการเติมโคแอกกูแลนท์ก็ได้คาร์บอนที่ใช้แล้วจะรวมอยู่กับตะกอนแขวนลอยในน้ำกลายเป็นฟล้อค ซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้โดยการตกตะกอนหรือการกรอง ด้วยเหตุนี้ถ่านกัมมันต์แบบผงจึงนิยมเติมก่อนกระบวนการตกตะกอนหรือกระบวนการกรองน้ำ ข้อเสียของถ่านกัมมันต์แบบผงคือ การทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) ซึ่งเป็นการฟื้นอำนาจให้กับถ่านกัมมันต์แบบผงที่เสื่อมแล้ว มักไม่ประหยัดและไม่คุ้มค่า ดังนั้นการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงจึงเป็นแบบใช้แล้วทิ้งเลย นอกจากนี้ยังต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้กำจัดมลสารให้เหลือน้อย แต่ข้อดีของถ่านกัมมันต์แบบผงคือมีราคาถูกกว่าแบบเกร็ดประมาณ 2-3 เท่า สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณถ่านกัมมันต์เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนของคุณภาพของน้ำดิบได้ทันทีและสะดวกโดยไม่ต้องมีการลงทุนเบื้องต้นเป็นจำนวนมากๆ ทั้งนี้เพราะการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงเหมือนกับการ

ใช้สารเคมีอื่นๆ ที่ต้องการเครื่องป้อนถ่านกัมมันต์แบบผง และการดูดติดผิวเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโมเลกุลหรือคอลลอยด์สามารถสัมผัสกับผิวของถ่านกัมมันต์แบบผงได้ง่าย

- ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ด (Granular Activated Carbon หรือ GAC) มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ แข็งแต่เปราะและเบากว่าทราย ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดสามารถบรรจุถังและให้น้ำไหลผ่านในลักษณะที่คล้ายกับการกรองน้ำโดยปกติ ถ่านกัมมันต์แบบเกร็ดที่ใช้และเสื่อมแล้ว สามารถนำไปทำรีเจนเนอเรชัน (Regeneration) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การทำรีเจนเนอเรชันทุกครั้งต้องมีถ่านกัมมันต์สูญเสียไปประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะการทำรีเจอเนอเรชันต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้ถ่านกัมมันต์บางส่วนป่นกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสารต่างๆ ในน้ำทิ้งได้ สารที่ดูดติดผิวด้วยถ่านกัมมันต์ คือ สี กลิ่น และรส ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ เช่น กรดฮิวมิก (Humic Acid) และ กรดฟัลวิก(Fulvic Acid) คลอรีนในน้ำบางครั้งจำเป็นต้องเติมคลอรีนจำนวนมาก เพื่อให้ได้ผลอย่างเฉียบพลันในการฆ่าเชื้อโรค จึงทำให้มีคลอรีนตกค้างในน้ำมากเกินไปกรณีเช่นนี้แก้ไขได้โดยบรรจุถ่านกัมมันต์ และปล่อยให้น้ำไหลผ่านชั้นคาร์บอน ถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดผิวโลหะหนักต่างๆ โดยเฉพาะปรอทและเงิน และยังสามารถลดความเข้มข้นของโลหะอื่นๆ เช่น ตะกั่ว ทองแดง จะเหลือถึงระดับที่ยอมให้มีได้ในน้ำดื่ม นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ยังดูดติดผิวยาฆ่าแมลง (Pesticide) โดยปกติกรรมวิธีทำความสะอาดน้ำแบบธรรมดา เช่น โคแอกกูเลชัน การตกตะกอน และการกรอง มักไม่สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่างๆ ยกเว้น ดีดีที ซึ่งอาจถูกกำจัดได้เพียงบางส่วน ถ่านกัมมันต์ทั้งสองแบบ สามารถกำจัดยาฆ่าแมลงชนิดต่างๆได้อย่างดี ถ่านกัมมันต์สามารถดูดติดผิวผงซักฟอกได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าถ่านกัมมันต์ยังสามารถลดสารฟีนอลและสารประกอบฟีนอล โดยทั่วไปคาร์บอนจับฟีนอลต่างๆได้ดี แม้กระทั่งคาร์บอนที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์จนเสื่อมแล้วก็ยังจับสารฟีนอลได้

โดยปกติแล้วเครื่องกรองน้ำที่มีขายในท้องตลาดจะมีสารกรองที่บรรจุอยู่ดังต่อไปนี้
- สารกรองคาร์บอน ในเครื่องกรองน้ำส่วนใหญ่จะมีไส้กรองคาร์บอนแบบอัดตัว มีหน้าที่ในการดักจับอนุภาคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นฝุ่น ผง แบคทีเรีย จุลินทรีย์ ปรสิต ไวรัส ยาฆ่าแมลงและผลิตภัณฑ์ข้างเคียง VOCs, THMs ที่เจือปนมากับน้ำโดยน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองด้วยสารคาร์บอนแล้วจะมีลักษณะของน้ำที่ปลอดสารเหล่านั้นได้บางส่วน ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับสารคาร์บอนที่จะมีประสิทธิภาพในการยึดจับกับอนุภาคของสิ่งเจือปนในน้ำได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนั้นยังสามารถกรองสี กลิ่น รส สารอินทรีย์ สารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำด้วย สารกรองคาร์บอนแสดงในรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 สารกรองคาร์บอน (ที่มา : วิบูลย์ลักษณ์ ศุภเอม, พ.ศ. 2551)

- สารกรองแมงกานีส เป็นสารกรองที่สามารถกรองโลหะหนัก สนิมเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำได้ดี การผลิตสารกรองแมงกานีสจะผลิตโดย การเคลือบด่างทับทิม หรือโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ผิวของเม็ดทรายหรือเม็ดดินเผา เพื่อเป็นตัวพยุงหรือตัวแกน แล้วนำเม็ดทราย หรือเม็ดดินเผาไปเพื่อแปรสภาพโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นแมงกานีสออกไซด์ ซึ่งสารเคลือบแมงกานีสออกไซด์นี้จะทำหน้าที่ในการดูดซับสนิมเหล็ก และโลหะต่างๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย รูปที่ 2.7 แสดงสารกรองแมงกานีส

รูปที่ 2.7 สารกรองแมงกานีส (ที่มา : วิบูลย์ลักษณ์ ศุภเอม, พ.ศ. 2551)

- สารกรองแอนทราไซด์ เป็นสารกรองที่สามารถดูดติดผิวสนิมเหล็กและตะกอนความขุ่นได้ปริมาณสารกรองที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณสนิมเหล็กที่พบในน้ำดิบ รูปที่ 2.8แสดงลักษณะทางกายภาพของสารกรองแอนทราไซด์

รูปที่ 2.8 สารกรองแอนทราไซด์ (ที่มา : วิบูลย์ลักษณ์ ศุภเอม, พ.ศ. 2551)

- สารกรองเรซิน เป็นสารกรองที่สามารถป้องกันการเกิดหินปูน ลดความกระด้างของน้ำเรซินมีลักษณะเหมือนไข่กุ้ง เม็ดกลมๆ ขนาดเล็ก สีส้มสดใส เรซินสามารถกำจัดความกระด้างของน้ำได้ซึ่งหลักการทำงานของเรซิน คือ การแลกเปลี่ยนอิออนของสารในโมเลกุล เรซินที่ใช้ในระบบกรองน้ำส่วนใหญ่เป็นเรซินชนิดแคตอิออนโมเลกุลของแคตอิออนจะมีโซเดียม (Na) ติดอยู่เมื่อมีน้ำที่มีความกระด้างผ่านมาโมเลกุลดังกล่าวก็จะส่ง Na ออกไป แล้วดึงแคลเซียม(Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ที่เป็นส่วนประกอบของความกระด้างเข้ามา ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนอิออนกันแล้วน้ำกระด้างก็จะกลายเป็นน้ำอ่อน รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะทางกายภาพของเรซิน

รูปที่ 2.9 สารกรองเรซิน (ที่มา : วิบูลย์ลักษณ์ ศุภเอม, พ.ศ. 2551)

2.4.2 การกรองน้ำโดยเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีส (Reverse Osmosis)

การกรองน้ำโดยเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีส หรือ อาร์โอ คือ กระบวนการซึ่งอาศัยแรงดันน้ำให้น้ำไหลผ่านเยื่อกรอง (RO Membrane) โดยเยื่อกรองมีขนาดรูพรุนที่ผิวของเยื่อกรอง 0.0001ไมครอน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถไหลผ่านเยื่อกรองดังกล่าวได้เว้นแต่สารละลายที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าเยื่อกรอง อาทิเช่น ปรอท ตะกั่ว โลหะหนักชนิดต่างๆ รวมถึงเชื้อไวรัส และแบคทีเรียไม่สามารถผ่านเยื่อกรองได้ก็จะถูกขับออกทางท่อน้ำทิ้งของระบบ ซึ่งต้นกำเนิดของระบบเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีส ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล ใช้ครั้งแรกในกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา น้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยระบบเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีส ได้รับการรับรองจาก US. EPA (Environmental Protection Agency-USA) ว่าเป็นระบบการผลิตน้ำบริสุทธิ์ที่ดีที่สุดระบบหนึ่งซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์, เคมี, พิษวิทยา และจุลชีววิทยา น้ำที่ผ่านกระบวนการกรองดังกล่าวเมื่อนำน้ำไปต้มจะไม่เกิดคราบตะกรัน ซึ่งเป็นผลมาจากการแยกโมเลกุลของน้ำออกจากสารละลายต่างๆ ที่เจือปนอยู่ในน้ำ น้ำที่ผ่านกระบวนการเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีสมีเพียงโมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์จึงเป็นระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีการกรองด้วยเมมเบรนรีเวอร์สออสโมซีสมาใช้ในการผลิตน้ำอุปโภคบริโภค และใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น ผลิตน้ำดื่มบริสุทธิ์เพื่อการบริโภค

2.4.3 การกรองน้ำโดยสารใช้เรซิน (Resin Ion Exchange)

การกรองน้ำด้วยวิธีนี้จะใช้วิธีการแลกเปลี่ยนอิออนของเรซินกับธาตุหรือสารประกอบที่อยู่ในน้ำ ซึ่งเรียกสารเรซินที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนอิออนนี้ว่า Resin Ion Exchanger หน้าที่ของระบบการแลกเปลี่ยนอิออนจะมี 2 ประการต่อเนื่องกัน คือ

- กำจัดอิออนต่างๆ ออกจากน้ำ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-}, Cl^- เป็นต้น นอกจากนี้ เรซินอาจใช้กำจัดโลหะพิษออกจากน้ำได้ด้วย แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องใช้เรซินที่สังเคราะห์เป็นพิเศษ โลหะพิษที่ใช้เรซินกำจัดออกได้แก่ As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Au, Pb, Mo, Se, Ag, V และ Zn

- ทำให้อิออนต่างๆ มีความเข้มข้นสูงมากๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการกำจัดธาตุโลหะหนักออกจากน้ำ เช่นการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำ

โดยปกติสารแลกเปลี่ยนอิออน มักออกแบบเพื่อกำจัดสารละลายที่อยู่ในรูปอิออนเท่านั้นและไม่ใช้ในการกรองคอลลอยด์หรือโมเลกุลขนาดใหญ่ที่อยู่ในรูปของอิออน (มีประจุ) สารแลกเปลี่ยนอิออนมีความเหมาะสมในการเป็นเครื่องกรองได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าใช้กรองแล้วหน้าที่แลกเปลี่ยนอิออนอาจสูญเสียประสิทธิภาพ แล้วแต่ว่าจะกรองมากหรือน้อย ถ้าภาระในการกรองอยู่ในระดับต่ำสารแลกเปลี่ยนอิออนอาจทำหน้าที่ได้ทั้งสองอย่างพร้อมกัน การใช้สารแลกเปลี่ยนอิออนให้ทำหน้าที่อื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่กล่าวมา เช่น สารแลกเปลี่ยนอิออนอาจใช้เป็นสารดูดซับ (Adsorbent) หรือเป็นสารคะตะลิสต์ (สารเร่งปฏิกิริยา) เป็นต้น

เรซินทั่วไปมีลักษณะกลม และขนาดใกล้เคียงทรายกรอง แต่ไม่แข็ง มีน้ำหนักเบา โดยมีคุณสมบัติการแลกเปลี่ยนประจุ โดยเรซินจะมีอิออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกกับอิออนในน้ำ เรซินจะไม่ละลายน้ำ และเรซินจะมีช่องว่างภายในโครงไฮโดรคาร์บอนอย่างพอเพียง เพื่อให้อิออนต่างๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกได้อย่างสะดวก

ประโยชน์ของกระบวนการแลกเปลี่ยนอิออนสามารถกำจัดสารละลายต่างๆ ที่อยู่ในรูปอิออน ใช้ในการทำความสะอาด เพื่อกำจัดสารมลสารเฉพาะอย่างในน้ำ เช่น กำจัดความกระด้าง กำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนต และกำจัดเกลือแร่ทุกชนิดเพื่อผลิตน้ำบริสุทธิ์ ประเภทของสารเรซินแลกเปลี่ยนอิออน แบ่งได้ 4 ชนิด ตามความเป็นกรดหรือด่าง ได้แก่

- เรซินแบบกรดแก่ (Strong Acidic Cationic Resin) เรซินแบบกรดแก่จะมีหมู่ซัลโฟนิก หรือ $-SO_3^-$ เป็นหมู่อิออน ซึ่งจับติดอยู่กับโครงโฮโดรคาร์บอน หมู่ซัลโฟนิกนี้อาจอยู่ในรูปของ H^+ ดังเช่น $-SO_3^-H^+$ หรืออยู่ในรูปของ Na^+ เช่น $-SO_3^-Na^+$ ก็ได้ $-SO_3^-$ จะเป็นส่วนที่ไม่ใช้ในการ

แลกเปลี่ยน มีแต่ H^+ หรือ Na^+ เท่านั้น ที่ใช้แลกกับอิออนบวกที่อยู่ในน้ำเรซินแบบกรดแก่ชนิด SAC Resin จะนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือชุมชนขนาดเล็กเพื่อกำจัดความกระด้างของน้ำ และยังสามารถกำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ข้อดีของเรซินชนิดนี้ คือใช้ได้ดีกับน้ำที่มีพีเอชทุกระดับสามารถแยก Na^+ จากเกลือแกงได้ อำนาจเช่นนี้เรียกว่า Salt Splitting การรั่วของอิออนบวกที่ต้องการกำจัด เช่น Ca^{2+} เป็นต้น เกิดขึ้นน้อย สามารถแลกเปลี่ยนอิออนได้รวดเร็ว มีความคงทนอาจใช้ได้นานถึง 20 ปีหรือนานกว่า โดยมีการสูญเสียอำนาจเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย และเหมาะสำหรับใช้กำจัดความกระด้างหรือในการทำน้ำบริสุทธิ์ (Demineralisation) ส่วนข้อเสียที่สำคัญ คือ มีประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันต่ำประมาณ 25-45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้องเปลืองสารเคมีในการทำรีเจอเนอเรชัน

- เรซินแบบกรดอ่อน (Weak Acidic Cationic Resin) เรซินแบบกรดอ่อนมักนำมาใช้ในการกำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ซึ่งจะใช้ไฮโดรเจนอิออนแลกเปลี่ยนกับอิออนบวกของไบคาร์บอเนต ทำให้เกิดกรดคาร์บอนิกซึ่งสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้ง่ายเรซินแบบกรดอ่อนนี้จะมีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-COOH$ หรือ $-COONa$) เรซินชนิดนี้แตกตัวเป็นอิออนได้น้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันสูงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกรดแก่หรือกรดอ่อนหรือเกลือแกงเป็นตัวรีเจอเนอแรนท์ ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนสูงกว่าเรซินแบบกรดแก่ ประมาณ2 เท่า และทนต่อสารออกซิแดนท์ (เช่นคลอรีน) ได้ดีกว่าด้วย มีการรั่วของแคลเซียมต่ำ แต่ยอมให้โซเดียมรั่วหนีได้มาก ถ้าเปลี่ยนเรซินที่มี Na^+ ให้เป็น H^+ปริมาตรจะเพิ่มขึ้นและสามารถกำจัดความเป็นด่าง (Alkalinity) ออกจากน้ำได้โดยไม่ต้องมีการเติมกรดเลย ส่วนปฏิกิริยารีเจนเนอเรชันของเรซินแบบกรดอ่อนเป็นเช่นเดียวกับของเรซินแบบกรดแก่

- เรซินแบบด่างแก่ (Strong Basic Anionic Resin) เรซินแบบนี้ มีหน้าที่หลักคือ ให้อิออนลบได้แก่ OH^- หรือ Cl^- เพื่อแลกกับอิออนลบในน้ำที่ต้องการกำจัดออก เช่น HCO_3^-, SO_4^{2-} และ Cl^- หมู่อิออนของเรซินแบบด่างแก่มักเป็น Quaternary Amine สามารถใช้ได้ดีที่พีเอชทุกระดับ และมีความสามารถในการแยกเกลือด้วย (Salt Splitting) ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าเรซินแบบด่างอ่อน อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพในการรีเจนเนอเรชันโดยใช้สารรีเจอเนอแรนท์เป็น $NaCl$ หรือ HCl หรือ $NaOH$ ต่ำ เพียงแค่ 18-33 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ต้องเปลืองสารรีเจนเนอแรนท์มาก นอกจากนี้เรซินแบบด่างแก่ มีความคงทนต่ำทำให้มีอายุการใช้งานสั้น กรดฮิวมิกที่เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชสามารถทำให้เรซินเสียและไม่สามารถทำรีเจอเนอเรชันได้ บางครั้งถ้าใช้งานหนักเรซินอาจมีอายุไม่เกิน 3 ปี นอกจากการแลกเปลี่ยนอิออนลบแล้วเรซินแบบนี้ยังมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนซิลิกาและ CO_2 อีกด้วย เรซินแบบด่างแก่นำมาใช้ในการกำจัดความเป็นด่างไบคาร์บอเนตได้ แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะสิ้นเปลืองเนื่องจากกำจัดอิออนลบของ SO_4^{2-}, Cl^- ออกจากน้ำด้วย

- เรซินแบบด่างอ่อน (Weak Basic Anionic Resin) เรซินชนิดนี้ไม่ได้มีการแลกเปลี่ยนอิออน แต่จะกำจัดเฉพาะกรดแก่ เช่น HCl, H_2SO_4, HNO_3 ออกจากน้ำ และไม่สามารถกำจัดกรดอ่อน เช่น CO_2, SiO_2 เป็นต้น การกำจัดกรดแก่เกิดขึ้นโดยที่กรดแก่ทั้งโมเลกุลเข้ามาจับกับเรซิน ดังนั้น เรซินชนิดนี้จึงไม่ต้องมีอิออนอิสระก็ได้ สารรีเจนเนอแรนต์อาจเป็น $NaOH$ หรือ Na_2CO_3 หรือ NH_4OH โดยปกติเรซินแบบด่างอ่อนมักใช้ในการกำจัด Cl^- และ SO_4^{2-} ข้อดีมีหลายประการ เช่น ประสิทธิภาพในการทำรีเจนเนอเรชันสูงเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เปลืองสารเคมีน้อย และยังกำจัดอิออนได้สูง แต่อัตราเร็วของปฏิกิริยาต่ำ ทนต่อกรดฮิวมิกได้

2.4.4 ทฤษฎีการฆ่าเชื้อโรค

กระบวนการขั้นสุดท้ายในการผลิตน้ำสะอาด คือการฆ่าเชื้อโรคในน้ำซึ่งมีด้วยกัน 2 วิธี คือการฆ่าจุลินทรีย์ซึ่งเป็นต้นเหตุของโรคต่างๆ (Disinfection) และการทำลายจุลินทรีย์ทุกชนิดที่อยู่ในน้ำ (Sterilisation Disinfection)

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปาด้วยวิธีสเตอริไรซ์ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากในทางปฏิบัติระบบประปาทั้งหลายจึงนิยมการฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธี Disinfection แทบทั้งสิ้น ซึ่งสารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคเรียกว่า Disinfectant ได้แก่ ก๊าซคลอรีนหรือสารประกอบคลอรีนอื่นๆ โอโซน เงิน และอื่นๆ นอกจากนี้การฆ่าเชื้อโรคด้วยความร้อนและรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) ก็จัดอยู่ในแบบ Disinfection ด้วย

- การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน เป็นวิธีการฆ่าเชื้อโรคที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับโอโซน และรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV) คลอรีนซึ่งเป็นสารฆ่าเชื้อโรคที่มีอำนาจออกซิไดซิง (Oxidizing Power) สูงมากทำให้สามารถหยุดการเจริญเติบโตของแบคทีเรียส่วนใหญ่ได้ สำหรับโอโซนและรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) จะสามารถทำลายไวรัสได้ด้วย การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนซึ่งเรียกว่าคลอริเนชัน (Chlorination) เป็นวิธีที่ใช้กันมานานและยังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน สารที่ใช้ได้แก่ สารประกอบไฮโปคลอไรต์ (Hypochlorites) และคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) คลอรีนเป็นสารออกซิไดซิงอย่างแรง ดังนั้น เมื่อเติมลงไปในน้ำคลอรีนจะทำปฏิกิริยาต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว ถ้าเติมคลอรีนน้อยลงไปก็จะไม่มีคลอรีนเหลือตกค้าง แต่ถ้าเติมคลอรีนให้มากพอหลังจากทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ แล้ว ก็จะมีคลอรีนเหลือตกค้างอยู่ในน้ำทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคที่หลงเหลือหรือหลุดรอดเข้ามาในน้ำได้ แต่อย่างไรก็ตามหากคลอรีนตกค้างมากเกินไปก็ไม่ดีเพราะทำให้น้ำมีกลิ่น การฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนสิ่งที่สำคัญที่สุดไม่ใช่ปริมาณของคลอรีนที่เติมลงไปในน้ำหากแต่เป็นปริมาณของคลอรีนที่ตกค้างอยู่ในน้ำ (Chlorine Residual) ซึ่งวัดได้หลังจากช่วงเวลาสัมผัสหนึ่ง ซึ่งจากคุณสมบัติหนึ่งของคลอรีนคือเป็นสารออกซิไดซิงอย่างแรง ดังนั้นเมื่อเติมลงไปในน้ำคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับ

สารต่างๆ ได้อย่างรวดเร็วถ้าเติมคลอรีนน้อยเกินไปก็จะไม่มีคลอรีนตกค้างแต่ถ้าเติมมากไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองทำให้น้ำมีกลิ่นไม่พึงประสงค์และอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพได้ฉะนั้นจึงควรควบคุมให้มีปริมาณที่เหมาะสมเพื่อจะได้มีคลอรีนอิสระหรือคลอรีนหลงเหลืออยู่ในน้ำหลังจากการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ แล้วซึ่งจะทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้อนึ่งความต้องการคลอรีนขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำเช่นน้ำที่มีความขุ่นหรือสารละลาย มักต้องการคลอรีนสูง เป็นต้น ส่วนระดับคลอรีนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับมาตรฐานน้ำประปาที่กำหนดขึ้นโดยปกติระบบจ่ายน้ำประปาสำหรับชุมชนควรมีคลอรีนตกค้างอิสระ (Chlorine Residual) ที่เวลาสัมผัส 20 นาทีซึ่งวัดได้ที่ปลายท่อหลัก (main) จ่ายน้ำในจุดที่ไกลจากระบบผลิตมากที่สุดจะต้องมีความเข้มข้นประมาณ 0.2-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

- การฆ่าเชื้อโรคด้วยโอโซนเช่นเดียวกับคลอรีน โอโซนเป็นออกซิไดซิงในรูปของก๊าซโอโซนเมื่อฆ่าเชื้อแล้วจะไม่มีผลตกค้างใดๆ ทั้งสิ้นเพราะตัวโอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจน ข้อเสียของโอโซนคือมีอายุการใช้งานสั้นและละลายน้ำได้ยาก ในระบบฆ่าเชื้อในน้ำดื่มโอโซนจะเป็นตัวหลักในการฆ่าเชื้อเพราะสามารถกำจัดได้หมดจด แม้กระทั่ง คลอรีน เหล็ก แมงกานีส หรือสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดฮิวมิก เป็นต้นในเยอรมนีโอโซนเป็นสสารที่ใช้เพื่อจุดมุ่งหมายในการฆ่าเชื้อเท่านั้น

- การฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตหรือยูวี (UV) เหมาะสำหรับการฆ่าเชื้อโรคคลื่นจากรังสีอัลตราไวโอเลตเมื่อแพร่ผ่านน้ำจะสามารถฆ่าเชื้อ โดยที่ไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตจะไม่ก่อให้เกิดผลตกค้างใดๆ ทั้งสิ้นอย่างไรก็ตามการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตสามารถฆ่าเชื้อโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

2.5 การประเมินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลตอบแทนทางสิ่งแวดล้อม

โครงการศึกษานี้จะใช้โปรแกรม WaTER ซึ่งย่อมาจาก “Water Treatment Estimation Routine” เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดน้ำโดยใช้ข้อมูลนำเข้าจากการทดสอบในระดับต้นแบบ (pilot scale) สำหรับการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดเมื่อทำการสร้างระบบจริง โปรแกรม WaTERจะประมวลผลบนโปรแกรมพื้นฐานคือ Microsoft Excel โปรแกรม WaTER ถูกพัฒนาโดยหน่วยงาน US. EPA ร่วมกับ US. Department of Interior, Bureau of Reclamation อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ข้อมูลของค่าใช้จ่ายใกล้เคียงกับปัจจุบัน ในโครงงานศึกษานี้จะใช้โปรแกรม WaTER version

18/06/2012 ซึ่งเป็นการปรับปรุงครั้งล่าสุดโดยโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมสาธารณะที่สามารถใช้งานได้โดยไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ (http://www.usbr.gov/pmts/water/awtr.html)

โปรแกรม WaTER ถูกใช้ในปี 1979 โดย US. EPA นำมาใช้ประมาณการค่าใช้จ่ายการบำบัดน้ำ และในปี 1992 มีการปรับปรุงทางด้านค่าใช้จ่ายให้สอดคล้องกับความเป็นจริง โดยอ้างอิงประสบการณ์จากการประเมินระบบบำบัดน้ำเสียขนาดต่างๆ และประเภทต่างๆ โปรแกรมนี้จะสามารถนำมาประเมินค่าใช้จ่ายของระบบที่มีขนาด 2,500 GPD ถึง 1 MGD ได้อย่างแม่นยำ อย่างไรก็ตามความถูกต้องของข้อมูลนำเข้านั้นมีผลต่อความถูกต้องของการประมวลผล วิธีในการนำเข้าข้อมูลสำหรับโปรแกรม WaTER มีดังนี้

	= usually contain formulas or data that do change
	= requires entry of data, and may or may not change
	= entered data that usually do not change
	= reference
	= goal seek cells
	= limit error
###	= unknown use of data
	= future work and problems that need to be fixed

รูปที่ 2.10 วิธีการป้อนข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรม WaTER

(ที่มา : I. Moch and Assoc., Inc., 2006)

ในการป้อนข้อมูลนำเข้าก็จะทำการกรอกข้อมูลลงในแผ่นงานดังต่อไปนี้โดยจะพิจารณาจากผังการไหล (Flow Diagram) ของระบบบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก

ตารางที่ 2.1 แผ่นงานที่ใช้ในการป้อนข้อมูลในโปรแกรม WaTER

(ที่มา : I. Moch and Assoc., Inc., 2006)

#	**Worksheet**	**Description**
a	Project & Stage Info	Project title, date, list of worksheets in WaTER
b	Capacity	Production Capacity and water data report
c	Report	Process information input and cost output
d	Cost Index	Cost indices, interest rates, amortization
e	H2O Analysis	Water quality input
f	RO & NF Input	Input of membrane and system parameters
g	RO & NF Output	Cost and energy output

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) แผ่นงานที่ใช้ในการป้อนข้อมูลในโปรแกรม WaTER

(ที่มา : I. Moch and Assoc., Inc., 2006)

#	**Worksheet**	**Description**
h	CO2	Recarbonation basin
i	Acid	Sulfuric &Hydorchloric acid
j	IronFeed	
k	Alum Feed	
L	PACl	
m	De-Cl2	Dechlorination with sodium sulfite, sodium bisulfite, and sulfer dioxide
n	Cl2	
o	NHCl	
p	Ozone	
q	Lime Feed	
r	Antiscalant	
s	PolyElectrolyte	
t	KMnO4	
u	GAC	
v	Clearwell	
w	Gravity Filter	
x	UFSCC	
y	IX	
z	MF Input	
aa	MF Output	
bb	Rejection	
cc	ConcOutfall	
dd	IonicsED	

รายละเอียดของการป้อนข้อมูลนำเข้า และการประมวลผลอธิบายในคู่มือการใช้งานโปรแกรม WaTER ซึ่งข้อมูลที่ต้องการจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ (1) ค่าลงทุน (investment cost) ได้แก่ อุปกรณ์ เช่น ท่อ ถัง เครื่องสูบน้ำ เหล็ก คอนกรีต สายไฟ ค่าก่อสร้าง และอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำทิ้ง รวมถึงค่าก่อสร้างอาคารสำนักงาน (2) ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาระบบ เช่น ค่าแรงงาน ค่าสารเคมี ค่าวัสดุสิ้นเปลือง ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา ค่าฟื้นฟูสภาพเรซินเมมเบรน รีเวอร์สออสโมซีส รวมทั้งค่ากำจัดกากตะกอนต่างๆ และ (3) ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ เช่น อัตราดอกเบี้ย ระยะเวลาจ่ายคืนเงินกู้ และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งในโครงงานศึกษาจะ

สอบถาม และสืบค้นข้อมูลเหล่านี้จากผู้ผลิตอุปกรณ์ ตัวแทนจำหน่ายสารเคมี และบริษัทผู้รับเหมาออกแบบและเดินระบบ ตลอดจนข้อมูลจากธนาคารต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลนำเข้ามีความถูกต้องและสอดคล้องกับการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในประเทศไทย

สำหรับการประเมินผลการตอบแทนสิ่งแวดล้อม โครงงานศึกษานี้จะประเมินด้วยค่ารอยเท้าน้ำ (Water Footprint) ซึ่งเป็นค่าชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภค ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยคำนวณปริมาณน้ำจากผลรวมของทุกขั้นตอนตลอดห่วงโซ่อาหารของการผลิตสินค้าและบริการมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อปี หรือลูกบาศก์เมตรต่อคนต่อปี ทั้งนี้รอยเท้าน้ำ ถือเป็นค่าชีวัดที่ชัดเจน เพราะนอกจากจะแสดงปริมาณน้ำใช้และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาแล้ว ยังแสดงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำอีกด้วย รอยเท้าน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (กมลพร อยู่สบาย, 2554)

- รอยเท้าน้ำของผลิตภัณฑ์ (Water footprint of a product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ ในกระบวนการผลิตสินค้าทั้งทางตรงและทางอ้อม

- รอยเท้าน้ำของธุรกิจ (Water foot-print of a business) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ ในการดำเนินงานขององค์กรธุรกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม

- รอยเท้าน้ำของประเทศ (Water footprint of national consumption) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการตามความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ

โดยวิธีการคำนวณค่ารอยเท้าน้ำแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน โดยโครงงานศึกษานี้สนใจการประเมินปริมาณการใช้น้ำตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่ ซึ่งจัดอยู่ในประเภทรอยเท้าน้ำของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

- Blue Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีฟ้า) ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำ ทะเลสาบ รวมทั้งน้ำในอ่างเก็บน้ำต่างๆ และแหล่งน้ำใต้ดิน ได้แก่ น้ำบาดาล ที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

- Green Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเขียว) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตพืชผลทางการเกษตร การทำป่าไม้ และทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์

- Grey Water Footprint (รอยเท้าน้ำสีเทา) หมายถึง ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน

วิธีการคำนวณรอยเท้าน้ำโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ วิธีแบบคร่าว (Top-down approach) และวิธีแบบละเอียด (Bottom-up approach) วิธีแบบคร่าวจะใช้การคำนวณรอยเท้าน้ำจากข้อมูลการนำเข้า-ส่งออกสินค้า ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือ ค่าที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนสูงส่วนวิธีแบบละเอียดคำนวณจากข้อมูลการใช้วัตถุดิบในกระบวนการผลิต (Van Oel et al. 2008) ในส่วนของงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณรอยเท้าน้ำด้วยวิธีแบบละเอียด โดยการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดห่วงโซ่ของกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้ (พรเทพ แก้วเชื้อ, 2556)

$$WF = VW + C_{in} \tag{2.1}$$

โดยที่ WF คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อปี) VW คือ ปริมาณน้ำเสมือนของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) และ C_{in} คือ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต (ตันต่อปี)

การคำนวณปริมาณน้ำเสมือนของผลิตภัณฑ์ อธิบายได้ดังนี้

$$VW = VW_{green} + VW_{blue} + VW_{grey} \tag{2.2}$$

โดยที่ VW_{green} คือ ปริมาณน้ำเสมือนเขียวของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดิน เนื่องจากน้ำฝนที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$VW_{green} = \frac{P_{effective}}{Y} \tag{2.3}$$

โดยที่ $P_{effective}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการผลิต (ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่) และ Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ (ตันต่อพื้นที่)

VW_{blue} คือ ปริมาณน้ำเสมือนน้ำเงินของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) หมายถึง ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งแหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน ที่ใช้ในการผลิตสินค้าและการบริการ คำนวณได้ดังนี้

$$VW_{blue} = \frac{I_{blue}}{Y} \tag{2.4}$$

โดยที่ I_{blue} คือ ปริมาณน้ำชลประทาน (ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่)

และ VW_{grey} คือ ปริมาณน้ำเสมือนเทาของผลิตภัณฑ์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการผลิตสินค้าและการบริการให้กลับเป็นน้ำดีตามมาตรฐานคำนวณได้ดังนี้

$$VW_{grey} = \frac{(\beta \times AR)}{Y(C_{\max} - C_{natural})} \tag{2.5}$$

โดยที่ AR คือ อัตราการใช้สารเคมี ในพื้นที่ (ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่) β คือ สัดส่วนการชะล้าง $C_{\max}$ และ $C_{natural}$ คือ ความเข้มข้นมากสุดที่ยอมรับได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และความเข้มข้นของมลพิษ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ตามลำดับ