บทที่ 4 ผลการศึกษา และการอภิปรายผล

4.1 ข้อมูลการผลิตและการใช้น้ำของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่

ผลการสำรวจข้อมูลอัตราการผลิตและปริมาณการใช้น้ำของโรงฆ่าและชำแหละไก่แบบมาตรฐาน การสำรวจข้อมูลดำเนินการ ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2556 ผลการสำรวจแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอัตราการผลิตและปริมาณการใช้น้ำของโรงฆ่าไก่แห่งหนึ่ง

เดือน	ไก่เป็น (ตันต่อเดือน)	ปริมาณน้ำใช้สูงสุด (ลบ.ม./เดือน)	ปริมาณการใช้น้ำต่อตันวัตถุดิบในหนึ่งเดือน (ลบ.ม./ตันวัตถุดิบ)
มกราคม	9,931	113,038	11.4
กุมภาพันธ์	9,941	112,034	11.3
มีนาคม	10,195	111,332	10.9
เมษายน	7,295	101,530	13.9
พฤษภาคม	10,197	102,154	10.0
มิถุนายน	9,203	112,840	12.3
กรกฎาคม	9,462	109,954	11.6
สิงหาคม	9,402	112,632	12.0
กันยายน	9,871	102,544	10.4
ตุลาคม	9,999	116,402	11.6
พฤศจิกายน	10,780	114,010	10.6
ธันวาคม	9,903	113,308	11.4
เฉลี่ย	**9,682**	**110,148**	**11.5**

ปริมาณการใช้น้ำของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ แปรผันตามอัตราการผลิต คือ ที่อัตราการผลิตน้อยก็มีปริมาณการใช้น้ำน้อย และที่อัตราการผลิตมากก็มีการใช้น้ำมาก และการผลิตเฉลี่ยต่อเดือนจะใช้วัตถุดิบใกล้เคียงกัน ยกเว้นเดือนเมษายน และเดือนพฤศจิกายน ที่มีการผลิตต่ำสุด และสูงสุดตามลำดับ แต่ปริมาณน้ำใช้ในแต่ละเดือนใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการผลิตที่มีการควบคุม

มาตรฐาน ถึงแม้ว่าวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการลดลง แต่ในแต่ละแบตช์ยังคงต้องการความสะอาดเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการผลิตอาหารที่ปลอดภัย เมื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อปริมาณตันวัตถุดิบของโรงฆ่าและชำแหละไก่แห่งหนึ่ง พบว่า ใช้น้ำอยู่ที่ประมาณ 10.0-12.0 ลบ.ม. ต่อตันวัตถุดิบ เฉลี่ย 11.5 ลบ.ม. ต่อตันวัตถุดิบ ซึ่งใกล้เคียงกับโรงงานฆ่าและชำแหละไก่มาตรฐาน ซึ่งใช้น้ำประมาณ 12.0 ลบ.ม. ต่อ ตันวัตถุดิบ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) เพื่อให้การใช้น้ำในโรงงานฆ่าและชำแหละไก่แห่งนี้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำสูงสุด จึงดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งเพื่อประเมินความเป็นไปได้เชิงเทคนิค สำหรับการนำน้ำที่ผ่านการใช้แล้วมาทำการบำบัดกลับมาใช้ใหม่

4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้ง

ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่แบบมาตรฐานแห่งหนึ่ง ซึ่งเก็บตัวอย่างจำนวน 6 ครั้ง ในช่วงเวลาต่างกันโดยระยะเวลาห่างกัน 2 สัปดาห์ ระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2556 ซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการผลิตและปริมาณน้ำใช้อุตสาหกรรมสูงสุดในรอบปี การวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างมีค่าแปรผันในช่วงแคบๆ สันนิษฐานได้ว่าคุณภาพน้ำแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิตของโรงงาน และคุณภาพของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต ค่าพารามิเตอร์ทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ และความขุ่น จะแปรผันในช่วงแคบๆ แต่ค่าพารามิเตอร์ทางเคมี เช่น บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ไนเตรท คลอไรด์ และซัลเฟต จะมีค่าแปรปรวนสูง ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สะท้อนถึงการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และสารเคมีทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรค ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่โรงงาน หากต้องทำความสะอาดไก่ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่โรงงานให้สะอาด อาจจะทำให้ใช้น้ำและสารเคมีทำความสะอาด และฆ่าเชื้อในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งโดยตรง นอกจากนี้ น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ทุกตัวอย่างมีการปนเปื้อนของโลหะที่เป็นพิษในปริมาณต่ำ แสดงว่าไม่มีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายในกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำทิ้งทั้ง 6 ตัวอย่าง จะพบว่าในครั้งที่ 3 น้ำทิ้งมีลักษณะสมบัติที่แย่ที่สุด มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ สารเคมีทำความสะอาด และฆ่าเชื้อโรคสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่มาจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่แห่งหนึ่ง

ตัวแปร	หน่วย	ผลการทดลอง					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6
อุณหภูมิ	°C	32	31	31	30	31	31
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	7.2	7.5	7.1	7.0	7.2	7.5
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	3.35	3.60	3.26	3.28	3.45	3.31
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	3.1	3.5	5.7	4.6	3.5	3.7
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	µs/cm	1050	1102	1160	1148	1036	1142
ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (TDS)	mg/L	609	635	693	665	640	659
ของแข็งทั้งหมด	mg/L	624	640	702	685	656	678
บีโอดี (BOD)	mg/L	2.37	5.01	8.40	3.37	4.36	5.27
ซีโอดี (COD)	mg/L	27.3	32.5	40.8	27.3	32.5	31.1
ไนไตรต์	mg/L	0.5	0.9	0.7	0.6	0.7	0.7
ไนเตรท	mg/L	8.15	9.75	8.50	8.27	8.09	8.94
ทีเคเอ็น	mg/L	2.15	1.85	0.60	0.70	1.25	1.02
ความเป็นด่างทั้งหมด	mg/Las $CaCO_3$	150.64	135.70	145.50	142.10	146.50	137.85
แคลเซียม	mg/Las $CaCO_3$	46.0	16.9	42.0	36.0	39.0	40.0
แมกนีเซียม	mg/Las $CaCO_3$	3.75	7.24	7.13	6.82	7.10	5.17
ความกระด้างทั้งหมด	mg/Las $CaCO_3$	75.15	72.57	74.75	72.37	75.61	73.84
ฟอสเฟต	mg/L	0.35	0.30	0.90	0.45	0.47	0.38
คลอไรด์	mg/L	86.70	125.54	140.01	100.25	115.37	127.41
ซัลเฟต	mg/L	155.15	175.32	201.0	156.24	149.25	157.98
ซิลิกา	mg/L	58	54	61	57	53	59
โซเดียม	mg/L	135	109	192	110	129	135
โพแทสเซียม	mg/L	28.7	23.5	38.7	28.3	27.4	26.7
แมงกานีส	mg/L	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04
ทองแดง	mg/L	0.02	0.04	0.05	0.03	0.02	0.02
เหล็ก	mg/L	0.01	0.04	0.07	0.05	0.04	0.04
นิเกิล	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
สังกะสี	mg/L	0.09	0.11	0.23	0.12	0.26	0.05

เมื่อพิจารณาทุกพารามิเตอร์ ผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างทั้ง 6 ครั้ง มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมกำหนด และเมื่อเปรียบเทียบมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดิน (ภาคผนวก ก.7) พบว่าน้ำ

ตัวอย่างนี้มีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท 4 ทุกค่าพารามิเตอร์ ยกเว้นไนเตรท ที่มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดตลอดเวลา และค่าบีโอดีของน้ำตัวอย่างในครั้งที่ 2, 3, 5 และ 6 มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ดังนั้นน้ำทิ้งจึงไม่สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ ต้องผ่านการบำบัดเพื่อลดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่มาจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่กับคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้ในกสิกรรมพบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานแห่งนี้อาจจะนำไปใช้ในการกสิกรรมได้ (ภาคผนวก ก.3) และเมื่อเปรียบเทียบลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งของโรงงานกับคุณภาพน้ำเติมหม้อน้ำและน้ำหล่อเย็น (ภาคผนวก ก.8) พบว่า น้ำตัวอย่างที่เก็บมาทั้ง 6 ครั้ง มีค่าสูงมากเกินค่ามาตรฐานน้ำเติมหม้อน้ำ ถ้าพิจารณาน้ำเติมหล่อเย็นสามารถนำน้ำตัวอย่างนี้ไปใช้เติมเข้าหอหล่อเย็นได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อบาดาล (ภาคผนวก ก.9) พบว่าสามารถใช้เป็นน้ำทิ้งลงบ่อบาดาลได้ และหากเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (ภาคผนวก ก.11) พบว่า น้ำตัวอย่างที่เก็บมาทุกครั้งมีองค์ประกอบของปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานกำหนด

เมื่อพิจารณาการนำหมุนเวียนน้ำมาใช้ประโยชน์โดยตรง น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่สามารถนำมาใช้ในการกสิกรรม และใช้เป็นน้ำทิ้งลงบ่อบาดาลได้ แต่ทั้งสองแนวทางนี้ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบ (impact) ต่อการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ประโยชน์เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการหมุนเวียนน้ำทิ้งมาใช้ประโยชน์ทางอ้อม การนำน้ำทิ้งนี้กลับไปใช้ใหม่ในโรงงานจะส่งผลให้โรงงานนั้นได้รับภาพลักษณ์ที่แสดงถึงการผลิตที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถใช้ทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดการบำบัดน้ำเสียขั้นที่ 2 และ 3 (secondary and tertiary treatment processes) หรือการฆ่าเชื้อโรค (disinfection) จึงมีความจำเป็นสำหรับการปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคในโรงงานได้อย่างไรก็ตามการนำน้ำทิ้งมาหมุนเวียนใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต คือ การฉีดล้างตัวไก่ จะเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับโรงงาน และสามารถส่งเสริมนโยบายการบริโภคอย่างยั่งยืนหากต้องการนำน้ำทิ้งกลับไปหมุนเวียนใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต คือ การฉีดล้างตัวไก่จะต้องทำการพิจารณาสมบัติของน้ำตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549) แต่ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งนี้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ในบางช่วงเวลาเท่านั้น จะพบได้จากการทดสอบลักษณะสมบัติของน้ำตัวอย่างที่เก็บทั้ง 6 ครั้ง พบว่า น้ำทิ้งตัวอย่างครั้งที่ 3 มีมลสารปนเปื้อนสูงสุด แต่น้ำทิ้งมีลักษณะสมบัติคุณภาพน้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคทุกพารามิเตอร์ยกเว้น ค่าความขุ่น ของแข็งละลายได้ทั้งหมด ค่าไนเตรท ค่าซัลเฟต และค่าแมงกานีส ซึ่งมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค

4.3 แนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

ในโครงงานศึกษาจะทดสอบประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัด 4 รูปแบบคือ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต, กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับกระบวนการเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่, กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส และกระบวนการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส โดยใช้น้ำตัวอย่างที่เก็บในครั้งที่ 3 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำ ของแข็งทั้งหมด ไนเตรท ซัลเฟต และคลอรีน ที่สูงเกินกว่าค่ามาตรฐาน เป็นน้ำตัวอย่างในการทดสอบและทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง จะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ที่เก็บในครั้งที่ 3 มีความสกปรกสูงสุด ผลการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจะทำซ้ำ 3 ครั้ง น้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า การบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากการฆ่าและชำแหละไก่ด้วยการดูดซับของถ่านกัมมันต์สามารถลดค่าความขุ่น บีโอดี ซีโอดี ความเป็นด่างทั้งหมด แคลเซียม แมกนีเซียม ความกระด้างทั้งหมดคลอไรด์และซัลเฟตได้อย่างชัดเจน แต่สามารถลดค่าการนำไฟฟ้าของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด ไนเตรท ทีเคเอ็น และซิลิกา ของน้ำทิ้งตัวอย่างได้เล็กน้อย ส่วนอิออน เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง นิเกิล สามารถลดได้บ้าง แต่เนื่องจากอิออนเหล่านี้ปนเปื้อนในน้ำทิ้งอยู่เล็กน้อย ในขณะที่ถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับสังกะสีได้ เนื่องจากสังกะสีจะปนเปื้อนในน้ำทิ้งในปริมาณที่สูงกว่าอิออนอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์นั้นสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งให้สามารถนำมาใช้เป็นน้ำล้างทำความสะอาดพื้นได้ และสามารถใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่มีแรงดันในช่วง 301-450 psig ได้ (ภาคผนวก ก.8) แต่ต้องทำการกำจัดความกระด้างทั้งหมดออกก่อน ทั้งนี้ต้องใช้กระบวนการทำน้ำอ่อน (softening) วิธีที่นิยมคือการเติมสารเคมีเพื่อควบคุมและป้องกันการเกิดตะกรันในหม้อน้ำ นอกจากนี้ควรพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม การเลือกใช้วิธีเติมสารเคมีซึ่งน่าจะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่า และไม่มีน้ำเสียที่เกิดจากการรีเจนเนอเรตที่ต้องบำบัดต่ออีก เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ศึกษาเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549) (ภาคผนวก ก.14) ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งทั้ง 3 ครั้ง พบว่า มีค่าได้ตามเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภคทุกค่า ยกเว้น ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด มีค่าสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ทั้ง 3 ครั้ง ดังนั้นการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เพียงอย่างเดียวจึงไม่เพียงพอต่อการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้สามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการฉีดล้างตัวไก่ ซึ่งต้องการน้ำที่สะอาดเช่นเดียวกับน้ำดื่ม

ตารางที่ 4.3 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก				**มาตรฐานน้ำดื่ม**
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	**มอก 257-2549***
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.1	6.7	7.0	6.5	6.73±0.25	6.5-8.5
ความขุ่น (NTU)	5.7	0.80	0.86	0.82	0.83±0.03	5.0
ค่าการนำไฟฟ้า (µS/cm)	1150	1060	1050	1048	1052±6.43	-
ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (mg/L)	693	632	640	630	634±5.29	500
บีโอดี (mg/L)	8.4	1.0	1.0	1.0	1.0±0.0	-
ซีโอดี (mg/L)	40.8	3.1	3.1	3.0	3.07±0.06	-
ไนเตรท (mg/L)	8.50	5.30	5.40	5.25	5.32±0.08	4
ทีเคเอ็น (mg/L)	0.60	0.60	0.62	0.58	0.60±0.02	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (mg $CaCO_3$/L)	145.5	59.55	59.62	59.44	59.54±0.09	-
แคลเซียม (mg/L)	42.0	14.8	14.8	14.6	14.7±0.14	-
แมกนีเซียม (mg/L)	7.13	3.65	3.66	3.53	3.61±0.07	-
ความกระด้างทั้งหมด (mg/L)	74.8	29.1	29.2	29.1	29.1±0.07	100
คลอไรด์ (mg/L)	140	85.6	86.1	84.8	85.5±0.66	250
ซัลเฟต (mg/L)	201	130	131	129	130±1.00	200
ซิลิกา (mg/L)	61.0	57.0	59.0	56.0	57.3±1.53	-
โซเดียม (mg/L)	192	111	113	110	111±1.53	-
โพแทสเซียม (mg/L)	38.7	30.5	31.0	30.2	30.6±0.40	-
แมงกานีส (mg/L)	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	0.05
ทองแดง (mg/L)	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	1.00
เหล็ก (mg/L)	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05±0.00	0.50
นิเกิล (mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05±0.00	-
สังกะสี (mg/L)	0.23	0.04	0.04	0.03	0.04±0.01	3.0

หมายเหตุ * มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 64 งลงวันที่ 6 กรกฎาคม 2549

4.3.1 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต

น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต จะสามารถลดเชื้อโรคได้ น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อโรคเมื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Coliform Bacteria และ*E.Coli* ไม่พบแบคทีเรียทั้งสองกลุ่มในน้ำที่ผ่านการบำบัด แต่อย่างไรก็ตาม น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ยังไม่ผ่านมาตรฐานของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด เมื่อนำมาผ่านการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตแล้ว น้ำที่ผ่านการบำบัดก็ยังมีค่าของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานของน้ำเพื่อการบริโภค ดังนั้น การเลือกเทคนิควิธีนี้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับกระบวนการฆ่าเชื้อโรคด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นน้ำที่สะอาดเพื่อสามารถหมุนเวียนน้ำทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการฉีดล้างตัวไก่ได้จึงเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสม หากสามารถลดปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ตามที่กำหนดในมาตรฐานน้ำดื่ม ก็จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้

4.3.2 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

เช่นเดียวกับระบบบำบัดที่ผ่านมา เมื่อน้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาผ่านระบบรีเวอร์สออสโมซีส จะมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า น้ำที่ผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสมีค่าความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด ไนเตรท ทีเคเอ็น ความเป็นด่างทั้งหมด แมกนีเซียม และความกระด้างทั้งหมด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถกำจัดอิออนของคลอไรด์ ซัลเฟต ซิลิกา โซเดียม โพแทสเซียม แมงกานีส ทองแดง เหล็ก นิเกิล และสังกะสี ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงกล่าวได้ว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส จะทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้นมาก นอกจากนี้ด้วยขนาดเยื่อกรองที่มีรูพรุนขนาดเล็กจึงสามารถกักกั้นจุลินทรีย์กลุ่ม Fecal Coliform และ *E.Coli* ได้ น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงมีความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่ก่อโรคทางเดินอาหาร น้ำที่ผ่านการบำบัดนี้สามารถใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำที่มีแรงดันในช่วง 451-600 psig ได้ (ภาคผนวก ก.8) เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดโดยการกรองด้วยถ่านกัมมันต์และระบบรีเวอร์สออสโมซีส พบว่า ตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมดสามารถกำจัดได้มากกว่า 90 กว่าเปอร์เซ็นต์ โดยเฉพาะค่าของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดถูกกำจัดออกไปได้ถึง 96.1 เปอร์เซ็นต์ ยังคงเหลือตกค้างในระบบเพียง 3.9 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อพิจารณาตัวแปรที่ศึกษาเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549) (ภาคผนวก ก.14) พบว่า ค่าทุกพารามิเตอร์ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

น้ำบริโภค นั่นคือ สามารถนำน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้โดยตรง เช่น ใช้ในการล้างตัวไก่ ฉีดล้างขนไก่ เป็นต้น

ตารางที่ 4.4 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก				มาตรฐานน้ำดื่ม มอก 257-2549 *
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.73±0.25	6.60	6.70	6.90	6.73±0.15	6.5-8.5
ความขุ่น (NTU)	0.83±0.03	0.25	0.29	0.31	0.28±0.03	5.0
ค่าการนำไฟฟ้า (μS/cm)	1052±6.43	40	42	45	42±2.51	-
ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (mg/L)	634±5.29	20	25	27	24±3.61	500
บีโอดี (mg/L)	1.0±0.0	1.0	1.1	1.0	1.1±0.05	-
ซีโอดี (mg/L)	3.07±0.06	ND	ND	ND	ND	-
ไนเตรท (mg/L)	5.32±0.08	1.50	1.70	1.65	1.61±0.10	4
ทีเคเอ็น (mg/L)	0.60±0.02	0.60	0.62	0.58	0.60±0.02	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (mg $CaCO_3$/L)	59.54±0.09	6.65	6.74	7.03	6.81±0.20	-
แคลเซียม (mg/L)	14.7±0.14	ND	ND	ND	ND	-
แมกนีเซียม (mg/L)	3.61±0.07	0.45	0.51	0.65	0.54±0.10	-
ความกระด้างทั้งหมด (mg/L)	29.1±0.07	2.01	2.05	2.15	2.07±0.07	100
คลอไรด์ (mg/L)	85.5±0.66	2.25	2.23	2.30	2.26±0.01	250
ซัลเฟต (mg/L)	130±1.00	2.50	2.60	2.50	2.53±0.07	200
ซิลิกา (mg/L)	57.3±1.53	30.0	33.0	29.0	30.7±2.12	-
โซเดียม (mg/L)	111±1.53	4.5	4.6	4.8	4.62±0.07	-
โพแทสเซียม (mg/L)	30.6±0.40	4.1	4.0	4.1	4.1±0.07	-
แมงกานีส (mg/L)	0.01±0.00	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	0.05
ทองแดง (mg/L)	0.01±0.00	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	1.00
เหล็ก (mg/L)	0.05±0.00	0.03	0.02	0.03	0.02±0.01	0.50
นิเกิล (mg/L)	0.05±0.00	0.05	0.05	0.05	0.05±0.00	-
สังกะสี (mg/L)	0.04±0.01	0.04	0.04	0.03	0.04±0.01	3.0

หมายเหตุ * มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 64 งลงวันที่ 6 กรกฎาคม 2549

4.3.3 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่

น้ำตัวอย่างจากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 3 ที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ เมื่อผ่านเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก				**มาตรฐานน้ำดื่ม มอก 257-2549 ***
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.73±0.25	2.40	3.00	2.60	2.67±0.31	6.5-8.5
ความขุ่น (NTU)	0.83±0.03	0.37	0.46	0.39	0.41±0.05	5.0
ค่าการนำไฟฟ้า (μS/cm)	1052±6.43	690	756	732	726±33.4	-
ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (mg/L)	634±5.29	405	506	498	469±56.1	500
บีโอดี (mg/L)	1.0±0.0	1.0	1.0	1.0	1.0±0.00	-
ซีโอดี (mg/L)	3.07±0.06	ND	ND	ND	ND	-
ไนเตรท(mg/L)	5.32±0.08	5.40	6.38	6.13	6.16±0.20	4
ทีเคเอ็น(mg/L)	0.60±0.02	0.60	0.56	0.71	0.62±0.08	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (mg $CaCO_3$/L)	59.54±0.09	ND	ND	ND	ND	-
แคลเซียม(mg/L)	14.7±0.14	ND	ND	ND	ND	-
แมกนีเซียม (mg/L)	3.61±0.07	ND	ND	ND	ND	-
ความกระด้างทั้งหมด (mg/L)	29.1±0.07	ND	ND	ND	ND	100
คลอไรด์ (mg/L)	85.5±0.66	95.6	96.7	96.6	96.3±0.60	250
ซัลเฟต (mg/L)	130±1.00	120	135	146	133±13.1	200
ซิลิกา (mg/L)	57.3±1.53	50.0	49.0	46.0	48.3±2.08	-
โซเดียม (mg/L)	111±1.53	1.7	1.6	1.6	1.65±0.07	-
โพแทสเซียม (mg/L)	30.6±0.40	0.4	0.4	0.3	0.36±0.06	-
แมงกานีส (mg/L)	0.01±0.00	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	0.05
ทองแดง (mg/L)	0.01±0.00	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	1.00
เหล็ก (mg/L)	0.05±0.00	0.02	0.03	0.02	0.02±0.00	0.50
นิเกิล (mg/L)	0.05±0.00	0.05	0.05	0.05	0.05±0.00	-
สังกะสี (mg/L)	0.04±0.01	0.02	0.02	0.03	0.03±0.01	3.0

หมายเหตุ * มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 64 งลงวันที่ 6 กรกฎาคม 2549

น้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ เมื่อผ่านเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ น้ำจะมีค่าพีเอชเป็นกรด แต่ค่าความเป็นด่างทั้งหมด แมกนีเซียม แคลเซียม และความกระด้างจะสูญเสียจากน้ำตัวอย่าง เนื่องจากการรักษาสภาพบัฟเฟอร์ของน้ำเมื่อผ่านการแลกเปลี่ยนอิออนกับเรซินแบบกรดแก่ น้ำที่ผ่านการบำบัดนี้ไม่สามารถใช้เป็นน้ำป้อนหม้อไอน้ำ เนื่องจากค่าพีเอชที่เป็นกรดจะทำให้เกิดการกัดกร่อนหม้อไอน้ำ และเมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการกำจัดโดยดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัด ยังคงมีปริมาณไนเตรท คลอไรด์ และซิลิกาอยู่ค่อนข้างสูง ในการนำน้ำไปใช้ ต้องทำการปรับค่าพีเอชก่อน การบำบัดด้วยกระบวนการนี้ยังไม่สามารถกำจัดของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด และเมื่อพิจารณาตัวแปรที่ศึกษาเปรียบเทียบกับเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549) (ภาคผนวก ก.14) พบว่า ในการบำบัดครั้งที่ 2 มีค่าของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ และในการบำบัดทั้ง 3 ครั้ง มีค่าไนเตรท สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการเลือกเทคนิควิธีนี้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อสามารถหมุนเวียนน้ำทิ้งนี้กลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการฉีดล้างตัวไก่ได้จึงเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสม

4.3.4 กระบวนการบำบัดอื่นที่เสนอเพิ่มเติม

เมื่อพิจารณาลักษณะสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการต่างๆ พบว่ากระบวนการที่ทดสอบนั้นบางกระบวนการยังไม่สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าไก่และชำแหละไก่ให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำดื่ม ที่สามารถนำมาชำระล้างตัวไก่ได้ ดังนั้นจึงเสนอกระบวนการที่เสนอเพิ่มเติมที่สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่แห่งนี้ได้ อีก 3 กระบวนการ คือ

4.3.4.1 กระบวนการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

ผลการวิเคราะห์การบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (ตารางที่ 4.3) พบว่า การบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ไม่สามารถลดความค่าพารามิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด ถ้าจะทำการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดโดยเฉพาะส่วนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จึงเสนอให้นำน้ำทิ้งผ่านระบบกรองทราย ทั้งนี้ระบบการกรองเร็ว (rapid sand) ที่ใช้ทรายเป็นสารกรอง จะสามารถกำจัดมลสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ได้ น้ำเสียที่ผ่านระบบกรองทรายจะมีค่าของแข็งแขวนลอยลดลง น้ำทิ้งนี้จะสามารถผ่านสู่ระบบรีเวอร์สออสโมซีสได้ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส พบว่ามลสารส่วนใหญ่จะสามารถกักกั้นได้ในกระบวนการนี้ จึงตั้งสมมติฐานได้ว่า น้ำทิ้งที่ผ่านการกรองทรายจะมีค่าของแข็งแขวนลอย (สะท้อนด้วยค่าความขุ่น) และของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมดใกล้เคียงกับน้ำทิ้งที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ แต่ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ยังคงเดิมเช่นเดียวกับน้ำทิ้งเริ่มต้น เนื่องจาก

ทรายกรองนั้นไม่มีคุณสมบัติในการดูดซับเช่นถ่านกัมมันต์ ส่วนน้ำที่ผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิสแล้วจะมีค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกัน เนื่องจากความสามารถในการกักกั้นมลสารจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเยื่อกรอง การคาดคะเนลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการนี้แสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การคาดคะเนคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

พารามิเตอร์	น้ำเข้า	น้ำออก				**มาตรฐานน้ำดื่ม มอก 257-2549 ***
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.1	6.60	6.70	6.90	6.73±0.15	6.5-8.5
ความขุ่น (NTU)	5.7	0.25	0.29	0.31	0.28±0.03	5.0
ค่าการนำไฟฟ้า (μS/cm)	1160	40	42	45	42±2.51	-
ของแข็งละลายน้ำได้ทั้งหมด (mg/L)	693	20	25	27	24±3.61	500
บีโอดี (mg/L)	8.4	1.0	1.1	1.0	1.1±0.05	-
ซีโอดี (mg/L)	40.8	ND	ND	ND	ND	-
ไนเตรท (mg/L)	8.50	1.50	1.70	1.65	1.61±0.10	4
ทีเคเอ็น (mg/L)	0.60	0.60	0.62	0.58	0.60±0.02	-
ความเป็นด่างทั้งหมด (mg $CaCO_3$/L)	145.5	6.65	6.74	7.03	6.81±0.20	-
แคลเซียม (mg/L)	42.0	ND	ND	ND	ND	-
แมกนีเซียม (mg/L)	7.13	0.45	0.51	0.65	0.54±0.10	-
ความกระด้างทั้งหมด (mg/L)	74.8	2.01	2.05	2.15	2.07±0.07	100
คลอไรด์ (mg/L)	140	2.25	2.23	2.30	2.26±0.01	250
ซัลเฟต (mg/L)	201	2.50	2.60	2.50	2.53±0.07	200
ซิลิกา (mg/L)	61.0	30.0	33.0	29.0	30.7±2.12	-
โซเดียม (mg/L)	192	4.5	4.6	4.8	4.62±0.07	-
โพแทสเซียม (mg/L)	38.7	4.1	4.0	4.1	4.1±0.07	-
แมงกานีส (mg/L)	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	0.05
ทองแดง (mg/L)	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01±0.00	1.00
เหล็ก (mg/L)	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02±0.01	0.50
นิเกิล (mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05±0.00	-
สังกะสี (mg/L)	0.23	0.04	0.04	0.03	0.04±0.01	3.0

หมายเหตุ * มาตรฐานคุณภาพน้ำเพื่อการบริโภค ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 3470 (พ.ศ. 2549) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 123 ตอนที่ 64 งลงวันที่ 6 กรกฎาคม 2549

แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานเยื่อกรองในกรณีนี้อาจมีอายุการใช้งานที่สั้นลงกว่าการนำน้ำที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มาผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส จึงกำหนดให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองลดลง 2 เท่า กระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส ซึ่งอายุการใช้งานของเยื่อกรองเท่ากับ 12 เดือน การใช้งานเยื่อกรองในกรณีที่น้ำผ่านการกรองทรายอาจมีอายุการใช้งานเพียง 6 เดือนเท่านั้น โดยที่น้ำที่ผ่านการบำบัดในกระบวนการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีสจะสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549) นั่นคือ สามารถนำน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้โดยตรง เช่น ใช้ในการล้างตัวไก่ ฉีดล้างขนไก่ เป็นต้น

4.3.4.2 กระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ความสามารถในการกักกั้นมลสารจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเยื่อกรอง หากใช้กระบวนการรีเวอร์สออสโมซีสในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่อย่างเดียว โดยให้น้ำทิ้งผ่านสู่กระบวนการรีเวอร์สออสโมซีสโดยตรงก็สามารถบำบัดน้ำทิ้งเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดสำหรับน้ำบริโภค แต่อายุการใช้งานเยื่อกรองอาจจะลดลงจากเดิม โดยกำหนดให้อายุการใช้งานของเยื่อกรองเหลือเพียง 1 เดือน หรือลดลง 12 เท่าจากเดิมโดยที่น้ำที่ผ่านการบำบัดในกระบวนการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส จะสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดสูงสุดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค (มอก. 257-2549)

4.3.4.3 กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ พร้อมทั้งการปรับค่าพีเอช

ผลการวิเคราะห์น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่นั้น มีคุณสมบัติเป็นกรดจึงไม่สามารถนำมาหมุนเวียนใช้ได้ หากการปรับพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดให้อยู่ในช่วงที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน อาจเป็นอีกแนวทางที่ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำมาใช้งานได้ จากการประเมินสมดุลประจุ (ion balance) พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ มีปริมาณอิออนประจุบวก และประจุลบ เท่ากับ 5.8 และ 289.9 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการนี้มีอิออนบวกและลบไม่สมดุล หากประเมินการปรับค่าพีเอชให้มีค่าในช่วง 6.5-8.5 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับน้ำดื่มเพื่อการบริโภค จะต้องใช้สารเคมีในกลุ่มที่เป็นด่าง เช่น ปูนขาว ($Ca(OH)_2$), โซดาแอช (Na_2CO_3) หรือ โซดาไฟ (NaOH) เป็นต้น หากพิจารณาจากคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้จะพบว่า การใช้ปูนขาวอาจเพิ่มปริมาณแคลเซียมในของน้ำที่ผ่านการบำบัด ส่วนการใช้โซดาแอช และโซดาไฟ อาจเพิ่มปริมาณโซเดียมในน้ำที่ผ่านการบำบัด หากพิจารณาราคา

ของสารเคมีจะพบว่า ปูนขาวเป็นสารเคมีปรับพีเอชที่มีราคาถูกที่สุด ในกรณีที่มีการใช้ปูนขาวอย่างเดียวจะสามารถปรับพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดเป็น 6.5 ได้ ต้องเติมปูนขาวสูงถึง 35 ก./ล. แต่ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total alkalinity) ของน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าสูงถึง 47,266 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. ถ้าเติมโซดาแอชเพื่อปรับพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดให้มีค่าเท่ากับ 6.5 จะต้องเติมโซดาแอชสูงถึง 65 ก./ล. และค่าความเป็นด่างทั้งหมดจะเพิ่มสูงถึง 61,116 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. ในกรณีที่ปรับพีเอชด้วยโซดาไฟ พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 เมื่อเติมโซดาไฟ 37 ก./ล. และค่าความเป็นด่างทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 46,267 มก. แคลเซียมคาร์บอเนต/ล. ดังนั้น การปรับค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์และเรซินแลกเปลี่ยนอิออนแบบกรดแก่ไม่เหมาะสม เนื่องจากการปรับพีเอชจะก่อให้เกิดการเพิ่มของค่าความเป็นด่างทั้งหมดในน้ำที่ผ่านการบำบัดเพิ่มขึ้น

4.4 การประเมินเชิงเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

สอดคล้องกับผลการประเมินเชิงเทคนิค มีเพียงกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส และกระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีสเท่านั้นที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานฆ่าและชำแหละไก่แห่งนี้ได้เพียงพอที่จะหมุนเวียนกลับมาใช้เพื่อฉีดล้างตัวไก่ ถ้าโรงงานแห่งนี้สนใจที่จะสร้างระบบบำบัดน้ำทิ้งที่มาจากกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่ ควรจะต้องประเมินค่าใช้จ่าย เมื่อมีการสร้าง การดำเนินระบบ และค่าใช้จ่ายอื่นๆ โดยประเมินจากระบบบำบัดน้ำทิ้งที่มีการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส และการบำบัดด้วยกระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส ที่มีขนาดเท่าของจริง ในโครงงานศึกษานี้ใช้โปรแกรม WaTER รายละเอียดการนำข้อมูลป้อนเข้าแสดงในภาคผนวก ข. และผลการประเมินแสดงในรูปที่ 4.1-4.3 โดยการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโปรแกรม WaTER จะพิจารณาค่าใช้จ่ายสำหรับในการสร้างระบบบำบัดประกอบด้วย กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส, กระบวนการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส และระบบรีเวอร์สออสโมซีส ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดจริงของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส เมื่อพิจารณาในปีแรกระบบบำบัดนี้มีงบลงทุน (capital cost) ในการก่อสร้างและติดตั้งระบบ และงบดำเนินการระบบ (operating and maintenance cost) คิดเป็น 78 และ 22 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมด หลังจากนั้นจะมีเพียงงบดำเนินการระบบที่ต้องจ่ายเท่ากับ 22,184,896 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 17 บาท/ลบ.ม. ส่วนกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์มีงบลงทุนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับงบการดำเนินการระบบซึ่งเท่ากับ 52,104,330 บาท/ปี ในขณะที่กระบวนการรีเวอร์สออสโมซีส จะมีงบลงทุนต่ำกว่างบลงทุนของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เท่ากับ

25,566,510 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดจริง ของกระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส เมื่อพิจารณาในปีแรกระบบบำบัดนี้มีงบลงทุนในการก่อสร้างและติดตั้งระบบ และงบดำเนินการระบบคิดเป็น 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมด หลังจากนั้นจะมีเพียงงบดำเนินการระบบที่ต้องจ่ายเท่ากับ 15,757,228 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 12 บาท/ลบ.ม. ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดจริงของกระบวนการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซีส เพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาในปีแรกระบบบำบัดนี้มีงบลงทุนในการก่อสร้างและติดตั้งระบบ และงบดำเนินการระบบ คิดเป็น 65 และ 35 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณทั้งหมด หลังจากนั้นจะมีเพียงงบดำเนินการระบบที่ต้องจ่ายเท่ากับ 13,786,095 บาท/ปี หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 10 บาท/ลบ.ม.

Process	Cost Parameter	Units	Alternative Units		Construction Cost $	Construction Cost $/m³	Construction Cost $/kgal	Operating Cost $/yr	Operating Cost $/m³	Operating Cost $/kgal
Granular Activated Carbon										
Flow rate	50.0	L/sec	792.516	gal/min						
Alternative Flow Rate:		L/sec	0	gal/min						
	Bed Life									
Months	12				$ 1,736,811	$ 473.04	$ 1,790.65	$ 274,666	$ 0.20	$ 0.78
Reverse Osmosis/Nanofiltration					$ 852,217	$ 232.11	$ 878.63	$ 464,831	$ 0.35	$ 1.31
Membrane Type	90									
Number of elements	579	elements								
Operating Pressure	1	kPa	0	lb/in²						
NaCl Rejection	0.85	(decimal)								
Recovery	500	(decimal)								
Target Product TDS	N	mg/L								
Blending? (Y or N)	0									
Ratio (Blend:Product)	0.0	%								
Total fixed cost (USD)					2,589,028	705	2,669			
Total variable cost (USD/year)								739,497	1	2
Total fixed cost (Bath)					77,670,847	21,154	80,078			
Total variable cost (Bath/year)								22,184,896	17	63

รูปที่ 4.1 ค่าใช้จ่ายของกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

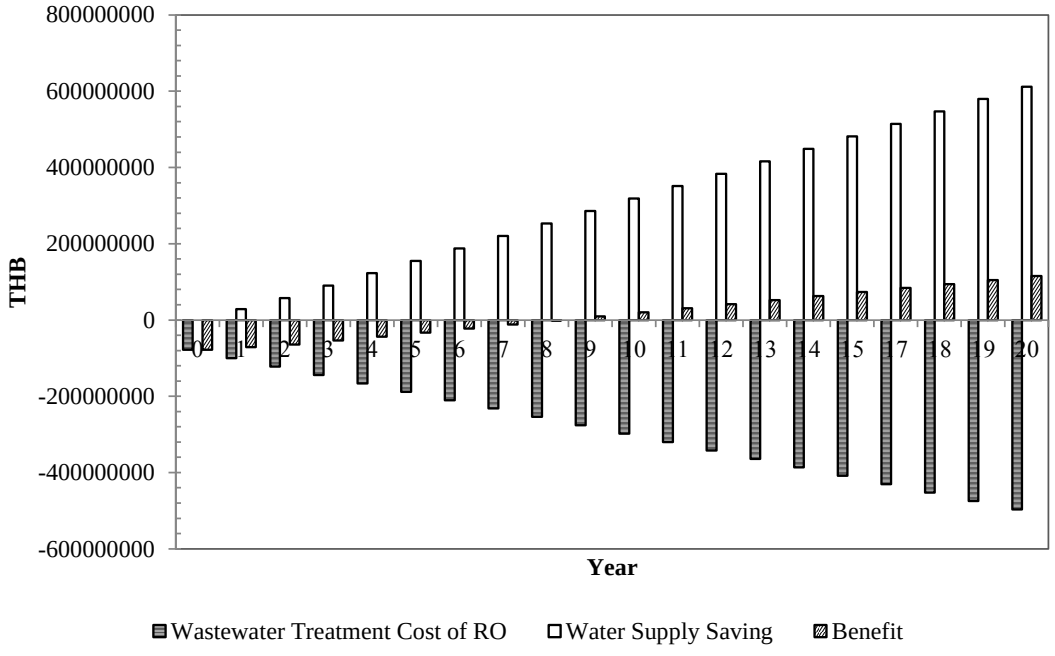
Process	Cost Parameter	Units	Alternative Units		Construction Cost $	Construction Cost $/m³	Construction Cost $/kgal	Operating Cost $/yr	Operating Cost $/m³	Operating Cost $/kgal
Gravity Filtration					$ 647,787	$ 170.40	$ 645.02	$ 60,498	0.05	0.17
Calculated Surface Area:	33.33	m²	359	ft²						
Alternative Surface Area:	(33.3	m²								
Structure:					$ 482,022	$ 131.28	$ 496.96	$ 47,117	$ 0.04	$ 0.13
Backwashing:					$ 143,609	$ 39.11	$ 148.06	$ 13,381	$ 0.01	$ 0.04
Media										
Rapid Sand					$ 4,028					
Coal/Sand					$ 22,155					
Coal/Sand/Garnet					$ 17,194					
Coal/GreenSand/Coal					$ 32,662					
Reverse Osmosis/Nanofiltration					$ 852,217	$ 232.11	$ 878.63	$ 464,743	$ 0.35	$ 1.31
Membrane Type	90									
Number of elements	579	elements								
Operating Pressure	1	kPa	0	lb/in²						
NaCl Rejection	0.85	(decimal)								
Recovery	500	(decimal)								
Target Product TDS	N	mg/L								
Blending? (Y or N)	0									
Ratio (Blend:Product)	0.0	%								
Total fixed cost (USD)					1,500,004	403	1,524			
Total variable cost (USD/year)								525,241	0.39	1.48
Total fixed cost (Bath)					45,000,119	12,075	45,710			
Total variable cost (Bath/year)								15,757,228	12	44

รูปที่ 4.2 ค่าใช้จ่ายของกระบวนการดูดซับด้วยการกองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

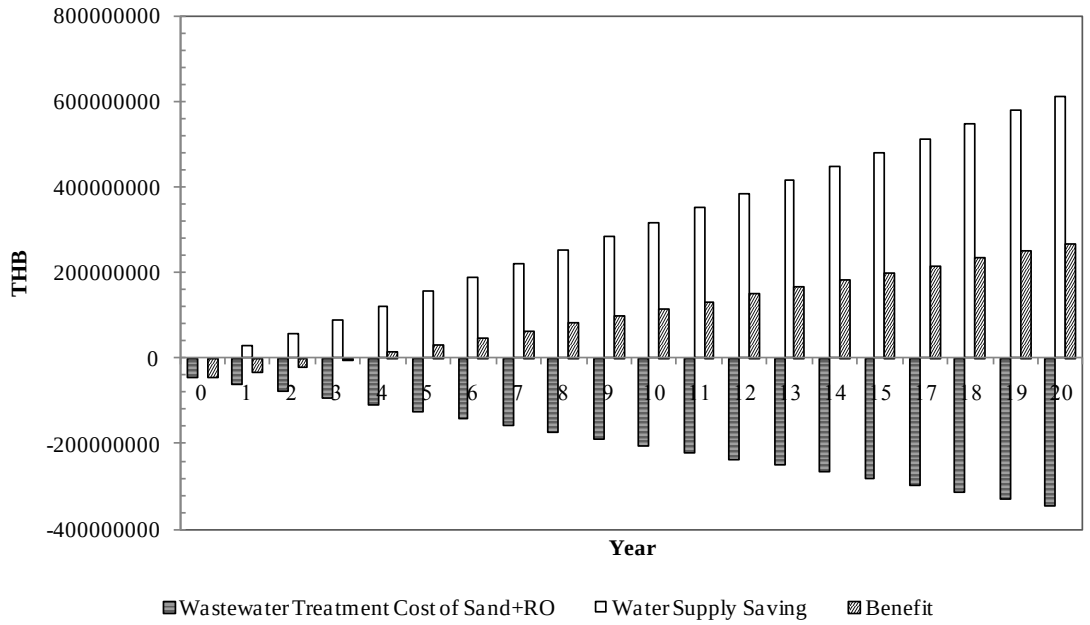
Process	Cost Parameter	Units	Alternative Units		Construction Cost $	Construction Cost $/m³	Construction Cost $/kgal	Operating Cost $/yr	Operating Cost $/m³	Operating Cost $/kgal
Reverse Osmosis/Nanofiltration					$ 847,376	$ 230.79	$ 873.64	$ 459,536	$ 0.34	$ 1.30
Membrane Type	90.0									
Number of elements	539	elements								
Operating Pressure	1	kPa	0	lb/in²						
NaCl Rejection	0.85	(decimal)								
Recovery	500	(decimal)								
Target Product TDS	N	mg/L								
Blending? (Y or N)	0									
Ratio (Blend:Product)	0.0	%								
Total fixed cost (USD)					**847,376**	**231**	**874**			
Total variable cost (USD/year)								**459,536**	**0**	**1**
Total fixed cost (Bath)					**25,421,276**	**6,924**	**26,209**			
Total variable cost (Bath/year)								**13,786,095**	**10**	**39**

รูปที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายของกระบวนการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซีสเพียงอย่างเดียว

หากประเมินราคาน้ำประปาในภาคอุตสาหกรรมเท่ากับ 15 บาท/ลบ.ม. จะพบว่าการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ ด้วยกระบวนการกรองด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซีสเพียงอย่างเดียว และกระบวนการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส จะมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้ง 10 และ 12 บาท/ลบ.ม.ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้น้ำประปา และพิจารณาถึงการหมุนเวียนน้ำทิ้งจากกระบวนการฆ่าและชำแหละไก่ คุ้มทุนภายในระยะเวลา 8 ปี เมื่อคิดงบลงทุนร่วมด้วย ผังการลงทุนและผลตอบแทนแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แผนภูมิงบลงทุนและผลตอบแทนของการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบรีเวอร์สออสโมซีส



รูปที่ 4.5 แผนภูมิงบลงทุน และผลตอบแทนของการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยการดูดซับด้วยการกรองทรายร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส

เมื่อการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมจะคำนวณด้วยเครื่องมือรอยเท้าน้ำ (Water Footprint) โดยพิจารณาจากการชำแหละไก่แบบมาตรฐานมีน้ำเสียเกิดขึ้น 12 ลบ.ม.ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน

ปริมาณวัตถุดิบ 9,682 x 12 = 116,184 ตัน/ปี

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งหมด = 1,341,023 ลบ.ม/ ปี

รอยเท้าน้ำของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ $\frac{1{,}341{,}023 \text{ ลบ.ม/ ปี}}{116{,}184 \text{ ตัน / ปี}}$ = 11.54 ประมาณ 12 ลบ.ม/ ตัน/ปี

น้ำส่วนไม่ที่สัมผัสกับเนื้อไก่และเครื่องในไก่ที่ใช้เป็นอาหารมีเพียงน้ำล้างพื้นเท่านั้น หากสามารถหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ประโยชน์ในการล้างพื้นจะประหยัดนำได้ 3.0 ลบ.ม.ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน หรือ คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำใช้ทั้งหมด รอยเท้าน้ำของโรงงานปัจจุบันก็มีค่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าโรงงานเลือกแนวทางการหมุนเวียนน้ำมาใช้แบบอ้อม (indirect reuse) เช่น การหมุนเวียนน้ำเพื่อกสิกรรม และ/หรือการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำบาดาล หากโรงงานดำเนินการบำบัดน้ำทิ้ง แล้วนำกับมาใช้โดยตรง (direct reuse) ด้วยการนำมาใช้ฉีดล้างตัวไก่ ระบบบำบัดที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานฆ่าและชำแหละไก่ให้เป็นไปตามมาตรฐานน้ำบริโภค ได้แก่ กระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส, กระบวนการดูดซับด้วยการกรองทราย

ร่วมกับระบบรีเวอร์สออสโมซีส และระบบรีเวอร์สออสโมซีส เพื่อจะหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น ฉีดตัวไก่ ล้างซากไก่ เป็นต้น พบว่าจะให้ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมทางโรงงานซึ่งจะสามารถหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด 7.2 ลบ.ม.ต่อปริมาณไก่ 1 ตัน หรือคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำใช้ทั้งหมด รอยเท้าน้ำของผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเล็กลงจากของเดิม 35 เปอร์เซ็นต์