

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย

2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวซึ่งผ่านการใช้แล้วทั้งที่มีกากและไม่มีกาก หรือของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนในของเหลวนั้น

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งจะทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ถ่ายเทเจือปนลงในน้ำนั้นในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก และมีลักษณะเป็นที่รังเกียจของคนทั่วไป หรือถ้าปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติก็จะทำให้เกิดการเน่าเสียของแหล่งน้ำได้

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้ คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ น้ำมัน ไขมัน พงษ์กฟอก สบู่ ยาฆ่าแมลง สารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดการเน่าเหม็นและเชื้อโรคต่าง ๆ

2.1.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

โดยทั่วไปแล้วแหล่งกำเนิดของน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 3 แหล่ง คือ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากการเกษตร และ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

1) น้ำเสียจากชุมชน เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก อาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชย์กรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันการศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น ความสกปรกในชุมชนส่วนใหญ่เป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายได้โดยกระบวนการธรรมชาติ

2) น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เช่น น้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว จากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น โดยน้ำเสียจากเกษตรกรรมส่วนใหญ่จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย

3) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียอุตสาหกรรมบางแห่งอาจปนเปื้อนโลหะหนัก หรือสารประกอบที่ต้องอาศัยกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนกว่าน้ำเสียชุมชน

2.1.3 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

การควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำเป็นการป้องกันและลดการนำสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้มีค่าของสารแขวนลอย 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าบีโอดี 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องตั้งอุปกรณ์กำจัดน้ำเสียและดำเนินการกำจัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐาน ดังที่กำหนดไว้ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

องค์การอนามัยโลก (WHO) และกระทรวงอุตสาหกรรมของประเทศไทย กำหนดได้ตามตาราง มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

องค์ประกอบของน้ำ	หน่วย	องค์การอนามัยโลก	กระทรวงอุตสาหกรรม
บีโอดี	มก./ล.	40	20
ซีโอดี	มก./ล.	100	-
ค่าทูปทิม	มก./ล.	-	60
สารแขวนลอย	มก./ล.	60	30
ของแข็ง(ละลายน้ำ)	มก./ล.	2,000	2,000
pH	มก./ล.	5-9	5-9
ซัลไฟด์ (เช่น H_2S)	มก./ล.	3.0	1.0
ไซยาไนด์ (เช่น HCN)	มก./ล.	1.0	0.2
น้ำมันและไขมัน	มก./ล.	15.0	-
น้ำมันดิน	มก./ล.	มองไม่เห็น	-
ฟอร์มาลดีไฮด์	มก./ล.	-	1.0
ฟีนอลิก	มก./ล.	0.05	1.0
คลอรีนอิสระ	มก./ล.	5.0	1.0
โลหะหนัก (ทั้งหมด)	มก./ล.	5.0	-
สังกะสี	มก./ล.	2.0	*
โครเมียม	มก./ล.	0.1	*
สารหนู	มก./ล.	-	*
เงิน	มก./ล.	-	*
ซีลีเนียม	มก./ล.	-	*

ตะกั่ว	มก./ล.	-	*
นิเกิล	มก./ล.	-	-
ทองแดง	มก./ล.	2.0	-
เหล็ก	มก./ล.	5.0	-
ยาฆ่าแมลง	มก./ล.	-	-
ยาปราบศัตรูพืช	มก./ล.	0.01	-
สารกัมมันตภาพรังสี	SUUC	-	-
อุณหภูมิ	องศา ซ.	40	40

* แต่ละตัวหรือรวมทั้งหมดไม่เกิน 1.0 มก./ล.

ที่มา : สุมาลี พิตรากุล, 2532

2.1.4 สารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ

สารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำมีมากมายหลายชนิดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) สารปนเปื้อนประเภทที่ต้องการออกซิเจน

1.1) ขยะ น้ำที่ไม่เสีย จะมีออกซิเจนละลายอยู่ในน้ำไม่น้อยกว่า 6.0 มิลลิกรัม ต่อลิตร สัตว์น้ำเช่น ปลา กุ้ง หอย ใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำนี้หายใจทำให้ คงมีชีวิตอยู่ได้ครั้นเมื่อมีคนทิ้งขยะลงในแม่น้ำลำคลอง ขยะซึ่งเป็นสารอินทรีย์จะเน่าเปื่อยเกิดออกซิเดชัน หมายความว่าต้องดึงเอาออกซิเจน ซึ่งละลายอยู่ในน้ำมาใช้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดน้อยลง ถ้าออกซิเจนลดลงมาก บรรดาสัตว์น้ำเช่น ปลา ก็จะแสดงอาการขาดออกซิเจน โดยโผล่ขึ้นมาหายใจที่ผิวน้ำบ่อยๆ ในขณะเดียวกันน้ำก็เกิดสภาวะขาดออกซิเจน เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำให้ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป ทำให้น้ำกลายเป็นสีดำมีกลิ่นเหม็น กลายเป็นน้ำเสีย

1.2) สารซักฟอก ที่เราใช้ซักทำความสะอาดเสื้อผ้า มีฟอสเฟตเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยมาก เมื่อไหลปนมากับน้ำทิ้ง จากบ้านเรือนลงไปตามท่อระบายน้ำแล้วไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย

1.3) มูลสัตว์ ในการเลี้ยงสัตว์เช่น เลี้ยงหมู ต้องทำความสะอาด ล้างคอกเป็นประจำ มูลสัตว์เช่นมูลหมูเป็นสารอินทรีย์ที่ไหลลงแม่น้ำลำคลองทำให้น้ำขาดออกซิเจน และกลายเป็นน้ำเน่า

1.4) ปุ๋ย ปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรมีสองประเภทคือปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยเคมี ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอกได้มาจากมูลสัตว์ต่างเป็นพวกสารอินทรีย์ส่วนปุ๋ยเคมี เช่น ปุ๋ยไนโตรเจน ปุ๋ยฟอสเฟต เป็นสารเคมี การใส่ปุ๋ยลงในดินที่ทำเพาะปลูก เกษตรกรมักใส่ในปริมาณเกินกว่าพืชจะดูดซึมขึ้นไปใช้ได้หมด เมื่อ

1.5) สารฆ่าแมลงและสารฆ่าพืช ส่วนมากเป็นสารเคมีที่เป็นพิษ เมื่อถูกชะลงไปใต้น้ำ ก็จะเป็นพิษแก่พืชและสัตว์ที่อยู่ในน้ำ และถ้าเรานำน้ำนั้นไปใช้ก็จะได้รับอันตรายจากสารพิษนั้นด้วย

2) สารปนเปื้อนประเภทอื่น ๆ

2.1) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำทิ้งจากระบบการผลิต ระบบการหล่อเย็น และจากอาคารที่อยู่อาศัย ตลอดจนที่ทำการร้านอาหาร สารที่ปะปนมาหลายชนิด ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ สารพวกกรด ด่าง โลหะหนัก สารเคมีต่าง ๆ สารกัมมันตรังสี และสารพิษเป็นพวกสารอินทรีย์ สารต่าง ๆ เหล่านี้เมื่อลงไปอยู่ในแม่น้ำลำคลอง จะทำให้เพิ่มปริมาณสารเหล่านั้น ในน้ำหรือเกิดการเป็นพิษกับสิ่งมีชีวิต ในน้ำ ทำให้สัตว์น้ำ เช่น ปลา ตายเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดความเสียหาย ดังเช่นที่ปรากฏเป็นข่าวบ่อยครั้ง

2.2) สารกัมมันตรังสี เกิดจากโรงงานที่ใช้พลังงานนิวเคลียร์ เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ และจากสถานที่ที่มีการใช้สารกัมมันตรังสี เช่น ห้องปฏิบัติการไอโซโทปและอื่น ๆ สารกัมมันตรังสีบางชนิดละลายน้ำได้ เมื่อลงไปอยู่ในแหล่งน้ำก็อาจถูกสัตว์น้ำ เช่น ปลา ปู กุ้ง หอย กินแล้วเข้าไปสะสมอยู่ในตัวสัตว์น้ำเหล่านั้นเมื่อเรานำสัตว์น้ำนั้นมากินเป็นอาหารก็อาจเป็นอันตรายได้

2.3) ความร้อน ความร้อนมาจากโรงงานบางชนิด จากโรงไฟฟ้าบางชนิดและจากโรงงานอุตสาหกรรม ความร้อนที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้น้ำบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้สัตว์น้ำและพืชน้ำบางชนิดเจริญเติบโตเร็วขึ้น ปลาต้องการอาหารและออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น เกิดการขาดแคลนอาหารและออกซิเจน นอกจากนั้นพืชและสัตว์น้ำบางชนิดไม่ชอบน้ำที่ร้อนขึ้นและทนภาวะเช่นนี้ไม่ได้ ก็จะตายไป

2.1.5 ลักษณะและสมบัติของน้ำเสีย

ลักษณะของน้ำเสียสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี และลักษณะทางชีวภาพ

1) ลักษณะทางกายภาพ (Physicals Characteristics) ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ ของแข็งต่าง ๆ ความขุ่น และความหนาแน่น เป็นต้น

- อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

- สี (color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติ

- กลิ่นและรส กลิ่นและรสของน้ำจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เช่น ชากพืช ชากสัตว์ที่เน่าเปื่อยหรือสารในกลุ่มของฟีนอล กลีโกลิโคไซด์คลอไรด์ซึ่งจะทำให้ น้ำมีรสกร่อยหรือเค็ม

- ความขุ่น (turbidity) เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ดิน ชากพืช ชากสัตว์

- การนำไฟฟ้า (electrical conductivity) บอถึงความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า

- ของแข็งทั้งหมด (total solid: TS) ของแข็งทั้งหมด คือ ปริมาณของแข็งในน้ำ สามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids : TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐาน คำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไปของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids : VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักน้ำที่ซั่งหลังการกรองลบด้วยน้ำหนักหลังจากการเผา น้ำหนักที่ได้คือ ของแข็งส่วนที่ระเหยไป

2) ลักษณะทางเคมี (Chemicals Characteristics)

ลักษณะทางเคมี คือ ลักษณะทางเคมีของน้ำ เช่น ความเป็นกรด - เบส ความกระด้าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ความเป็นกรด - ด่าง สารอินทรีย์ ไนโตรเจน สารซักฟอก ในโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก เป็นต้น

- pH แสดงความเป็นกรดหรือเบสของน้ำ (น้ำดื่มควรมีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.3) โดยทั่วไป น้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ที่ต่ำ ($\text{PH} < 7$) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูงมีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด - เบส ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ $[\text{H}^+]$ หรือการวัดโดยใช้ pH meter เมื่อต้องการให้มีความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (alkalinity) คือ สภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นเบสสูงจะประกอบด้วยไอออนของ OH^- , CO_3^{2-} , H_2CO_3 ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพเบสนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ด้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง สภาพกรด (acidity) โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพเบสจึงไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป แต่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก CO_2 ที่ละลายน้ำ

- ความกระด้าง (hardness) เป็นการไม่เกิดฟองกับสบู่และเมื่อต้มน้ำกระด้างนี้จะเกิดตะกอน น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารไบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) รวมตัวกับ ไอออนของโลหะเช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการต้ม นอกจากนี้แล้วยังมีความกระด้างถาวรซึ่งเกิดจากไอออนของโลหะและสารที่ไม่ใช่พวกคาร์บอเนต เช่น SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- รวมตัวกับ Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} เป็นต้น ความกระด้างจึงเป็นข้อเสียในด้านการสิ้นเปลืองทรัพยากร คือต้องใช้ปริมาณสบู่หรือผงซักฟอกในการซักผ้าในปริมาณมาก ซึ่งก็จะเกิดตะกอนมากเช่นกัน

- ดีโอ (dissolved oxygen : DO) คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ แบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำต้องการออกซิเจน (aerobic bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่า DO สูง และน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 ppm หรือปริมาณ O_2 ละลายอยู่ประมาณ 5-8 มิลลิกรัม/ลิตร หรือ 5-8 ppm. น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm. ค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่า แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่ ขบวนการทางชีวเคมีที่ต้องการออกซิเจนซึ่งเป็นขบวนการที่สำคัญในการผลิตพลังงานและกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตทุกชนิด ดังนั้นออกซิเจนจึงเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของคน สัตว์และพืช ก๊าซทุกชนิดในบรรยากาศละลายน้ำได้ แต่ออกซิเจนและไนโตรเจนละลายน้ำได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับก๊าซอื่น ๆ

2.3.1) ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายน้ำของออกซิเจน

- อุณหภูมิ ออกซิเจนและไนโตรเจนที่ละลายน้ำจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ
- ความดัน DO จะแปรผันโดยตรงกับความดันย่อยของออกซิเจนในขณะนั้นตัวอย่างเช่น ออกซิเจนจะละลายน้ำในปริมาณ 14.6 มก./ล. ที่ 0°C และ 7 มก./ล. ที่ 35°C ภายใต้ความดัน 1 บรรยากาศ
- ปริมาณเกลือแร่และสารปนเปื้อนในน้ำ น้ำที่มีสารปนเปื้อนจะมีปริมาณออกซิเจนละลายต่ำกว่าน้ำสะอาดที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ดังนั้นน้ำทะเลและน้ำเสียจะมีค่าอิ่มตัวของออกซิเจนต่ำกว่าน้ำสะอาด

2.3.2) ความสำคัญของค่า DO

- ค่า DO ในลำนน้ำธรรมชาติ จะเป็นตัวชี้ถึงความสามารถของน้ำที่จะรับการถ่ายเทของเสียหรือการฟอกตัวเองให้บริสุทธิ์ตามธรรมชาติ นอกจากนี้ยังแสดงถึงความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาและสัตว์น้ำอื่นๆ (เช่น ไม่ควร $< 5 \text{ mg/L}$)

- ช่วยในการควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เพื่อให้แน่ใจว่ายังคงรักษาสภาวะ aerobic ไว้ได้ และป้องกันการให้อากาศมากเกินไปจนก่อให้เกิดค่า BOD

- ใช้ในการควบคุมการกัดกร่อนของเหล็กในท่อน้ำประปาและหม้อต้มน้ำ เพราะพบว่าออกซิเจนในน้ำทำให้เกิดการกัดกร่อน (corrosion) ดังนั้นจึงไม่ควรมี DO เลยในหม้อต้มน้ำ (แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 250 psi มี DO ได้ 0.015 ppm)

2.3.3) วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ

วิธีที่ 1 วิธีทางเคมี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมมาก ได้แก่ The Azide Modification of The Winkler Method

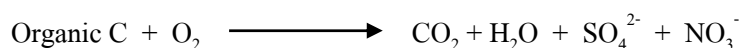
วิธีที่ 2 Membrane electrode method หรือเครื่องมือที่เรียกว่า DO meter ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ขบวนการเคมีไฟฟ้า โดยถือหลักอัตราการแพร่ของโมเลกุลออกซิเจนผ่านเยื่อ (membrane) ที่มีความเฉพาะเจาะจงกับออกซิเจน โดยที่เยื่อนี้อยู่ใน working electrode การวิเคราะห์ DO จะใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับสารรบกวนที่มีอยู่ในน้ำตัวอย่างนั้นๆ และความแม่นยำของผลที่ได้จากการวิเคราะห์

2.4) บีโอดี (biological oxygen demand : BOD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน สภาวะมาตรฐานของการวิเคราะห์ปริมาณ BOD คือ 20°C และเวลา 5 วัน (BOD_5) ค่า BOD จะบ่งบอกถึงลักษณะของน้ำเสียว่ามีสารอินทรีย์มากน้อยเพียงใด และทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดในรูปของการกำจัด BOD (BOD removal) นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการทำ stream survey เพื่อทราบถึงความสกปรกของแม่น้ำลำคลองต่าง ๆ

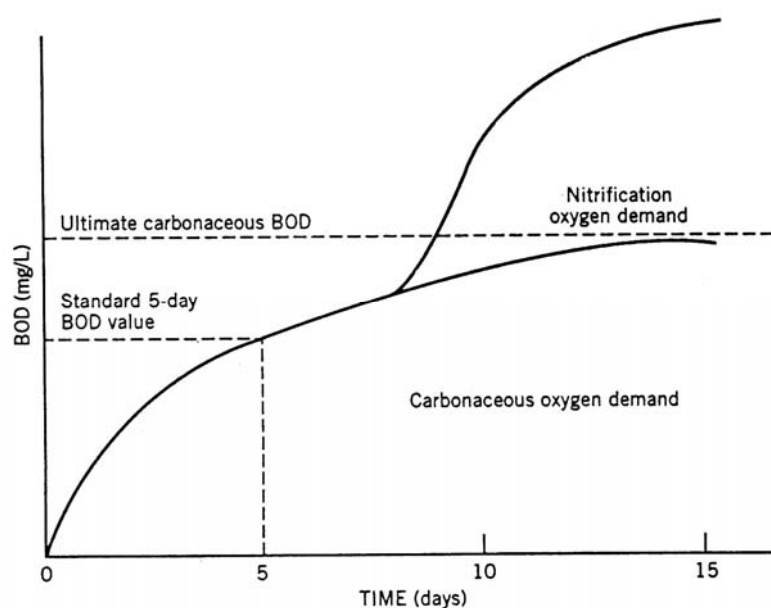
น้ำที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าบีโอดี ไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาค่า บีโอดี หาได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สารซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานหลายสิบวัน ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาบีโอดีมา 2 ขวด ขวดหนึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าออกซิเจนทันที สมมุติว่ามีออกซิเจนอยู่ 6.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนน้ำอีกขวดหนึ่งปิดจุกให้ แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้า นำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส นาน 5 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนสมมุติได้ 47 มิลลิกรัม ต่อลิตร ดังนั้นจะได้ค่าซึ่งเป็นปริมาณออกซิเจน ที่ถูกใช้ไป หรือ ค่าบีโอดี = $6.5 - 47 = 5.03$ มิลลิกรัมต่อลิตร

2.4.1) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์บีโอดี

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำแสดงได้ดังสมการ จะเห็นว่าสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์เป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกเป็นการออกซิไดซ์สารประกอบคาร์บอน ดังสมการ



ส่วนขั้นที่สองเป็นการออกซิไดซ์ NH_3 ไปเป็น NO_2^- และ NO_3^- ตามลำดับ โดยพวก nitrifying bacteria ซึ่งเป็น autotrophic bacteria แบคทีเรียพวกนี้มีการแบ่งตัวที่ 20°C น้อยมาก ดังนั้นปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียพวกนี้ใช้ในช่วงเวลา 5 วัน ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการหาค่า BOD จึงน้อยมาก ด้วยหลังจาก 10 วันไปแล้ว แบคทีเรียเหล่านี้จึงจะมีจำนวนมากพอที่จะใช้ออกซิเจนในการออกซิไดซ์ NH_3 เพื่อเปลี่ยนไปเป็น NO_3^- ในที่สุด



รูปที่ 2.1 แสดงค่า BOD ที่เกิดจากการออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจน

การวิเคราะห์ค่า BOD ที่นิยมกันทั่วไปเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปทั้งหมดในเวลา 5 วันโดยแบคทีเรียในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์ที่ถูกออกซิไดซ์นี้จะเป็นสารอินทรีย์จำพวกคาร์บอน ไม่ใช่สารประกอบอินทรีย์อื่นๆหรือสารอนินทรีย์ใด ๆ ในการวิเคราะห์ BOD นั้น ตัวอย่างน้ำที่จะต้องมีแบคทีเรียที่แข็งแรงและมีปริมาณมากพอที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำถึงนั้นๆได้ ถ้ามีน้อยหรือไม่มีเลย ต้องหาแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำถึงนั้นๆได้มาใส่ มิฉะนั้นผลของการวิเคราะห์จะผิดพลาดหรือหา BOD ไม่ได้เลย การวิเคราะห์ทำได้โดยหาปริมาณ

2.4.2) วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า BOD ของน้ำ

วิธีที่ 1 Direct method ใช้กับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกน้อยคือ มีค่า BOD_5 ไม่เกิน 7 มก./ล. ส่วนใหญ่เป็นน้ำจากแม่น้ำ วิธีนี้ไม่ต้องทำให้ตัวอย่างเจือจางด้วยน้ำกลั่น ให้ใช้ตัวอย่างน้ำมาหาค่า BOD โดยตรงเลย

วิธีที่ 2 Dilution method ใช้กับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกมาก เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม น้ำเหล่านี้จะมีค่า BOD_5 เกิน 7 มก./ล. ดังนั้นถ้าไม่ทำให้เจือจางลงปริมาณออกซิเจนในตัวอย่างจะไม่พอที่จะใช้ย่อยสารอินทรีย์ในน้ำ ค่า DO_5 จะเป็นศูนย์ การเจือจางอาจใช้แบบ %mixture หรือ direct pipetting (ตารางที่ 2.2) ลงสู่ขวด BOD โดยตรงเลยก็ได้ การเลือกใช้ dilution เท่าใดสำหรับน้ำที่นั้น ๆ เราควรจะทราบค่า BOD โดยประมาณก่อน ซึ่งส่วนมากจะประมาณจากค่า COD (คือประมาณ 60 % ของ COD) แล้วพิจารณาค่า dilution ที่จะใช้ตามตารางที่ 1 ตัวอย่างเช่น ถ้าน้ำที่มีค่า COD 1000 มก./ล. ค่า BOD โดยประมาณจะเท่ากับ 600 มก./ล. จากตารางควรเลือกใช้ 1.0 % mixture แล้วจึงเลือก % ตัวอย่าง เจือจางที่สูงกว่าและต่ำกว่าที่อยู่ติดกันอีก 2 อัน เพื่อให้ครอบคลุมค่า BOD ที่ต้องการทราบ

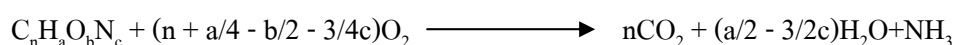
ตารางที่ 2.2 ช่วงของค่า BOD กับวิธีการเจือจางต่าง ๆ ของตัวอย่าง

Using Percent mixtures		By direct pipetting into BOD bottles	
% mixture	Range of BOD	ml	Range of BOD
0.01	20,000-70,000	0.02	30,000-105,000
0.02	10,000-35,000	0.05	12,000-42,000
0.05	4,000-14,000	0.10	6,000-21,000
0.1	2,000-7,000	0.20	3,000-10,500
0.2	1,000-3,500	0.50	1,200- 4,200
0.5	400-1,400	1.0	600-2,100
1.0	200-700	2.0	300-1,050
2.0	100-350	5.0	120-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	2-14	100	6-21
100	0-7	300	0-5

From : Chemistry for Sanitary Engineering, Sawyer and McCarty, p. 424

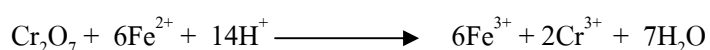
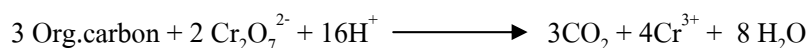
2.5) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand :COD) คือ ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้ สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปริมาณมากเกินพอ ในสารละลายกรดซัลฟิวริกซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

ค่า COD หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการ เพื่อใช้ในการ oxidize สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยที่สารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (95-100 %) จะถูก oxidize โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังสมการ



จะเห็นว่าสมการการเกิดปฏิกิริยาของ COD คล้ายกับ BOD คือสารอินทรีย์ในน้ำจะถูก oxidize จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ต่างกันตรงที่ BOD นั้นใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วน COD ใช้ตัวเติมออกซิเจน (oxidizer) ดังกล่าวแล้ว โดยปกติค่า COD จะสูงกว่าค่า BOD ทั้งนี้เพราะสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูก oxidize อย่างสมบูรณ์โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการดูดซึมทางชีวะ (biological assimilation) ของสารเหล่านั้น เช่น กลูโคส ลิกนิน เซลลูโลส โดยเฉพาะถ้ามีสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถถูก oxidize ทางชีวะปนอยู่ด้วย จะทำให้ค่า COD สูงกว่าค่า BOD มาก ในกรณีที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์บางพวก เช่น straight-chain aliphatic compound, aromatic hydrocarbon, pyridine และ betaine ปะปนอยู่ ซึ่งสารเหล่านี้จะไม่ถูก oxidize ทางเคมี ค่า COD จะน้อยกว่าค่า BOD ไอออนของสารอินทรีย์บางตัว เช่น halogen (F^- , Cl^- , Br^-), NO_3^- , S^{2-} และ Fe^{2+} มีผลทำให้ค่า COD มีค่ามากกว่าความเป็นจริง การหาค่า COD จะรู้ผลในเวลาไม่เกิน 3 ชม. ดังนั้นจึงเหมาะในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย เพราะสามารถแก้ไขข้อบกพร่องได้ทันทั่วทั้งที่ใช้ในการประเมินค่า BOD อย่างคร่าว ๆ

Strong oxidizing agent ที่ใช้ในการหาค่า COD มีด้วยกันหลายตัวคือ potassium permanganate, ferric sulfate, potassium iodate และ potassium dichromate การหาค่า COD โดยใช้โปแตสเซียมไดโครเมตเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเพราะให้ผลที่น่าเชื่อถือและแน่นอน หลักการของวิธีนี้คือสารอินทรีย์คาร์บอนจะถูก oxidized โดยโปแตสเซียมไดโครเมตในสภาวะที่เป็นกรดอย่างรุนแรง ดังนั้นจึงใช้การ reflux เพื่อป้องกันการระเหยสูญหายของสารเคมี จากนั้นจึงไทเทรตหาปริมาณโปแตสเซียม-ไดโครเมตที่เหลืออยู่ด้วย ferrous ammonium sulfate โดยใช้ ferroin เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้



มีการเติม AgSO_4 เป็นตัว catalyst เพื่อเร่งปฏิกิริยาการออกซิไดส์ของพวกกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ (straight chain aliphatic) นอกจากนี้ AgSO_4 ที่ใส่ไปจะไปทำปฏิกิริยากับ Cl^- , Br^- หรือ I^- ได้ แต่ AgSO_4 เป็น catalyst ที่ไม่ได้ผลในการออกซิไดส์สารประกอบพวก aromatic และ pyridine สารรบกวนที่สำคัญคือ Cl^- จึงต้องใส่ HgSO_4 ลงไปก่อนเพื่อไปจับกับ Cl^- ให้อยู่ในรูปของ mercuric chloride complex โดยวิธีนี้สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีค่า COD ตั้งแต่ 50 มก. /ล ขึ้นไปได้ และแน่นอน

การ reflux มี 2 วิธี คือ แบบเปิด (Open Reflux) และแบบปิด (Closed Reflux) ทั้งสองวิธีการมีหลักการเหมือนกัน ต่างกันตรงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และแบบปิดสารอินทรีย์ที่ระเหยจะสามารถถูกออกซิไดส์ได้มากกว่าแบบเปิด เพราะมีเวลาในการสัมผัสกับสารออกซิไดส์ได้นานกว่า

2.6) ทีโอซี (Total Organic Carbon: TOC) คือ ปริมาณคาร์บอนในน้ำ

2.7) ไนโตรเจน เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของ แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ในไตรท ไนเตรต ยิ่งถ้าในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

2.8) ฟอสฟอรัส ในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต(Orthophosphate) เช่นสาร PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- และ H_3PO_4 นอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟอสเฟต

2.9) ซัลเฟอร์ มีอยู่ในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบภายในของสิ่งมีชีวิต สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำจะอยู่ในรูปของ organic sulfur เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า เช่น ที่เรียกว่าก๊าซไข่เน่า และนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมได้

2.10) โลหะหนัก มีทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับ ถ้ามากเกินไปจะเป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี บางชนิดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคลเซียม ตะกั่ว พรอทและนิกเกิล

3) ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics)

จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย 95 % นอกนั้นก็จะเป็น รา สาหร่าย และโปรโตซัว

2.1.6 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 5 วิธีคือ

1) กระบวนการทางเคมี (chemical process) กระบวนการทางเคมีเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่าง ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด ด่างสูง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ

1.1) การทำให้เกิดตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนลอยจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถแยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ

โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) เกลือเหล็ก (FeCl_3 , FeSO_4) และเกลือของแคลเซียม ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ส่วนเกลือนำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของกลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี เช่น

การผลิตน้ำประปา

น้ำประปาเป็นน้ำที่ผ่านขบวนการต่างๆ มากมาย กว่าจะเป็นน้ำประปาให้บริการแก่ประชาชนได้นั้น มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน และต้องมีการลงทุนที่สูงมาก ดังขบวนการผลิตต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสูบน้ำ การผลิตน้ำประปา เริ่มจาก "โรงสูบน้ำแรงต่ำ" ทำการสูบน้ำดิบจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อลำเลียงเข้าสู่ระบบผลิต ซึ่งน้ำดิบที่สามารถนำมาผลิตน้ำประปาได้นั้นต้องเป็นน้ำที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสิ่งสกปรกโสโครกปนเปื้อนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งได้ผ่านการวิเคราะห์ตรวจสอบจากนักวิทยาศาสตร์แล้วว่าสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นน้ำประปาได้ และต้องมีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาผลิตน้ำประปาได้อย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ น้ำดิบที่สูบน้ำเข้ามาแล้ว จะถูกผสมด้วยสารเคมี เช่น สารส้มและปูนขาว เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำดิบ สารละลายสารส้มจะช่วยให้มีการตกตะกอนได้ดียิ่งขึ้น และสารละลายปูนขาวจะช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำหรือสาหร่ายในน้ำ หรือบางครั้งจะมีการเติมคลอรีน เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคที่อาจปะปนมากับน้ำในขั้นตอนนี้ก่อน

ขั้นตอนที่ 3 การตกตะกอน ขั้นตอนนี้จะปล่อยน้ำที่ผสมสารส้มและปูนขาวแล้ว ที่ทำให้เกิดการหมุนวนเวียนเพื่อให้ น้ำกับสารเคมีรวมตัวกันจะช่วยให้มีการจับตัวของตะกอนได้ดียิ่งขึ้นและจะนำน้ำเหล่านั้น ให้เข้าสู่ถังตะกอนที่มีขนาดใหญ่ เพื่อทำให้เกิดน้ำนิ่ง ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกลงสู่ก้นถัง และถูกดูดทิ้ง น้ำใสด้านบนจะไหลตามรางรับน้ำเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2.2 แสดงถังตกตะกอนที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ขั้นตอนที่ 4 การกรอง ในการกรองจะใช้ทรายหยาบและทรายละเอียดเพื่อการกรองตะกอนขนาดเล็กมากในน้ำ และให้มีความใสสะอาดมากขึ้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ น้ำที่ผ่านการกรองจะมีความใสมากแต่จะมีความขุ่นหลงเหลืออยู่ประมาณ 0.2-2.0 หน่วยความขุ่น และทรายกรองจะมีการล้างทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้การกรองมีประสิทธิภาพ

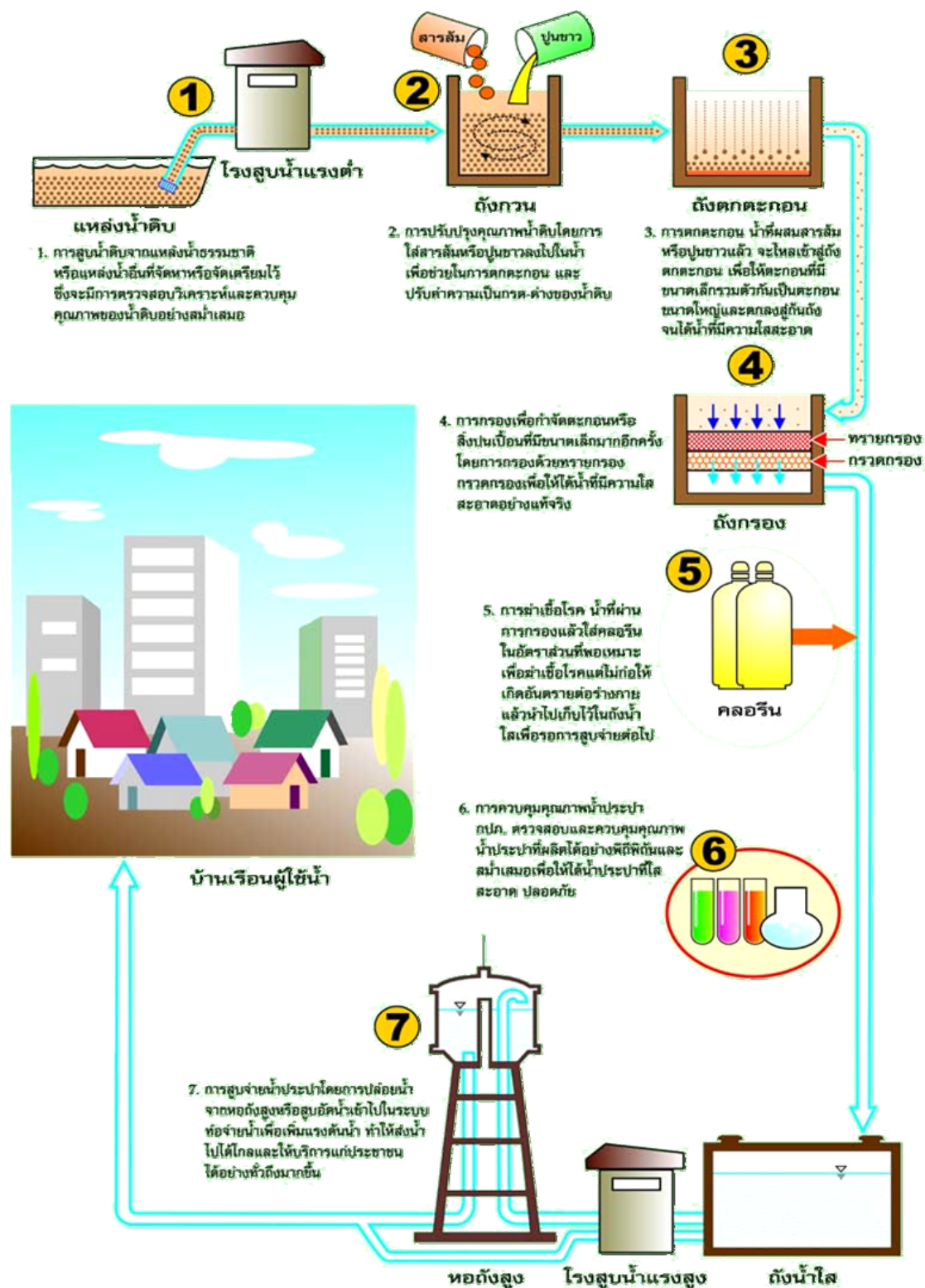
ขั้นตอนที่ 5 การฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการกรองมาแล้วจะมีความใส แต่อาจจะมีเชื้อโรคเจือปนมากับน้ำ ฉะนั้นจึงจะต้องทำการฆ่าเชื้อโรค โดยใช้ คลอรีน ซึ่งคลอรีนนี้สามารถฆ่าเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี น้ำที่ได้รับการผสมคลอรีนแล้ว เรียกกันว่า "น้ำประปา" สามารถนำมาใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคได้ และจะทำการจัดเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่ เรียกว่า ถังน้ำใส เพื่อจัดการบริการต่อไป

ขั้นตอนที่ 6 การควบคุมคุณภาพน้ำประปา ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำประปาที่ทำการผลิตมาแล้วนั้น จะต้องวิเคราะห์ตรวจสอบอีกครั้งจากนักวิทยาศาสตร์ และการตรวจสอบนี้จะดำเนินการอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ได้น้ำประปาที่สะอาด ปลอดภัย สำหรับการอุปโภคบริโภค

ขั้นตอนที่ 7 การส่งจ่าย น้ำประปาที่ผลิตมาแล้วนั้น จะต้องให้บริการถึงบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำโดยส่งผ่านไปตามเส้นทางท่อ ดังนั้นการส่งจ่ายจึงมีความจำเป็น ด้วยการส่งจากหอถังสูงที่สามารถบริการได้ในพื้นที่ใกล้เคียง และในพื้นที่ที่ไกลออกไปหรือมีความสูงมากจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดแรงดันน้ำเพื่อให้ น้ำประปาสามารถบริการได้อย่างทั่วถึง

ในขั้นตอนการผลิตน้ำประปา ของการประปาส่วนภูมิภาคนั้น ทุกขั้นตอนต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทั้งสิ้น เริ่มจากการสูบน้ำดิบที่จะใช้ทั้งกระแสไฟฟ้า หรือน้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมี เช่น สารส้ม ปูนขาว และคลอรีน ก็ต้องมีการจัดซื้อมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำและฆ่าเชื้อโรคในน้ำประปา รวมถึงการจัดเก็บและส่งจ่ายมายังบ้านเรือนของผู้ใช้น้ำก็ต้องมีค่าใช้จ่ายเพื่อให้ทุกขั้นตอนการดำเนินการที่สมบูรณ์

น้ำประปา ถึงแม้จะมีการเรียกเก็บค่าน้ำค่าบริการจากผู้ใช้น้ำนั้นนับได้ว่า เป็นราคาน้ำที่ถูกที่สุดเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพน้ำรวมถึงขั้นตอนขบวนการผลิตและส่งจ่ายน้ำประปามายังทุกครัวเรือน นับว่าเป็นสาธารณูปโภคที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตแต่มีราคาถูกอย่างมาก หากเปรียบเทียบกับบริการที่จะทำการผลิตน้ำประปาเอง หรือการซื้อน้ำที่มีการจำหน่ายอยู่ทั่วไปก็ตาม

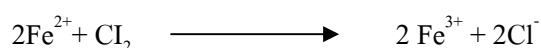


รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำประปาของการประปาส่วนภูมิภาค

ที่มา : สำนักงานประปาเขต 5 สงขลา , 2549

1.2) การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation)

การเกิดออกซิเดชันทางเคมีอาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอมให้แก่สารเคมีที่เติมลงไป ในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้



1.3) การเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction)

การเกิดรีดักชันทางเคมีเป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรือไอออน ของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วยเฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) ในสภาพที่เป็นกรด ดังแสดงในสมการต่อไปนี้



1.4) การสะเทิน (neutralization)

การสะเทิน เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมีฤทธิ์เป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2) กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

กระบวนการนี้ใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี โดยการเติมประจุไฟฟ้าให้กับน้ำเสียที่ผ่าน เข้ามายังขั้วไฟฟ้าชนิดพิเศษ (Electrode) เมื่อน้ำเสียได้รับประจุไฟฟ้า สารแขวนลอยและตะกอนต่าง ๆ จะรวมตัวกับประจุไฟฟ้าและเกิดการตกตะกอนแยกชั้นขึ้น จากนั้นจึงแยกตะกอนหรือชั้นของแข็งออกจากรน้ำ

3) กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)

กระบวนการทางชีววิทยา (biological process) เป็นการอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์ต่าง ๆ มาทำการย่อยสลายเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ดีที่สุดในแง่ของการลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ แต่หลักการนี้เลือกสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสม

4) กระบวนการทางกายภาพ (physical process)

กระบวนการทางกายภาพ (physical process) เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณ 50-65% ส่วนเรื่องการแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD5) ประมาณ 20-30% เท่านั้น วิธีการต่าง ๆ ในกระบวนการนี้มีหลายวิธี เช่น การดักด้วยตะแกรง (screening) เป็นการแยกเศษขยะต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสีย เช่น เศษไม้ ถุงพลาสติก กระดาษ ตะแกรงมีหลายขนาด การดักด้วยตะแกรงจึงเป็นการแยกขั้นต้นแรกในการบำบัดน้ำเสีย การตัดย่อย (combination) คือ การใช้เครื่องตัดทำลายเศษขยะขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง การกวาด (skimming) เป็นการกำจัดน้ำมันและไขมันโดยทำการดักหรือกวาดออกจากน้ำเสีย การทำให้ลอย (floating) จะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ การตกตะกอน (sedimentation) เป็นการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเรื่องแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะมาก

5) กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (physical-chemical process)

เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนอื่นแล้ว เช่น กระบวนการดังต่อไปนี้

5.1) การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption)

กระบวนการดูดซับ คือ กระบวนการที่โมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในของเหลวถูกดูดติดบนผิวของตัวดูดซับ การเกาะจับหรือการดูดซับของโมเลกุลบนผิวของสารดูดซับ อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพหรือด้วยแรงเคมีหรือทั้งสองอย่างร่วมกัน การดูดซับด้วยคาร์บอนเป็นกระบวนการที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ เช่น ชัลไฟด์ ในโตรเจนและโลหะหนัก เป็นต้น ในการบำบัดน้ำเสียโดยมากใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับซึ่งกระบวนการนี้มีข้อดีคือ วัสดุที่ใช้ทำถ่านกัมมันต์หาง่ายและมีราคาถูก เช่น กะลามะพร้าว แต่ถ่านกัมมันต์จะมีคุณภาพแตกต่างกันตามวัสดุที่ใช้ทำ ข้อจำกัดของกระบวนการนี้คือ ถ่านกัมมันต์มีค่าการเลือกเกิดปฏิกิริยาคำ ดังนั้นถ้าในสารละลายมีสารหลายชนิดปนอยู่กับสารที่ต้องการกำจัดและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าหรือใกล้เคียงกันจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดของถ่านกัมมันต์ต่ำลง เนื่องจากเกิดคามด้านทานจากสารอื่น เพราะสารที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะดูดซับได้ดีกว่านอกจากนั้นแล้วข้อเสียอีกประการหนึ่งคือเครื่องปฏิกรณ์อาจเกิดการอุดตันง่าย

5.2) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchanger)

วิธีการนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียกับตัวกลางที่บรรจุ ซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยจะมีการลำเลียงน้ำภายใน

การกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น ไอออนของโลหะหนักด้วยวิธีแลกเปลี่ยนไอออน เกิดขึ้นโดยสารแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchanger) ไม่ว่าจะเป็นไอออนบวกหรือไอออนลบทำการแลกเปลี่ยนไอออนของสารแลกเปลี่ยนกับไอออนชนิดเดียวกัน (ไอออนบวกหรือลบ) ในสารละลายสารแลกเปลี่ยนที่มีไอออนลบเป็นองค์ประกอบเรียกว่า anion exchanger ส่วนสารแลกเปลี่ยนที่มีไอออนบวกเป็นองค์ประกอบเรียกว่า cation exchanger ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ สารละลายที่ผ่านกระบวนการนี้ จะมีความบริสุทธิ์สูงเนื่องจากสารแลกเปลี่ยนมีหลายชนิดและมีค่าในการเลือกเกิดปฏิกิริยาสูง ข้อจำกัดของกระบวนการนี้ คือ สารละลายที่ผ่านเข้ากระบวนการนี้ต้องมีการกำจัดสารหรือสารเจือปนชนิดอื่นออกไปก่อน ดังนั้นการบำบัดเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับกระบวนการนี้

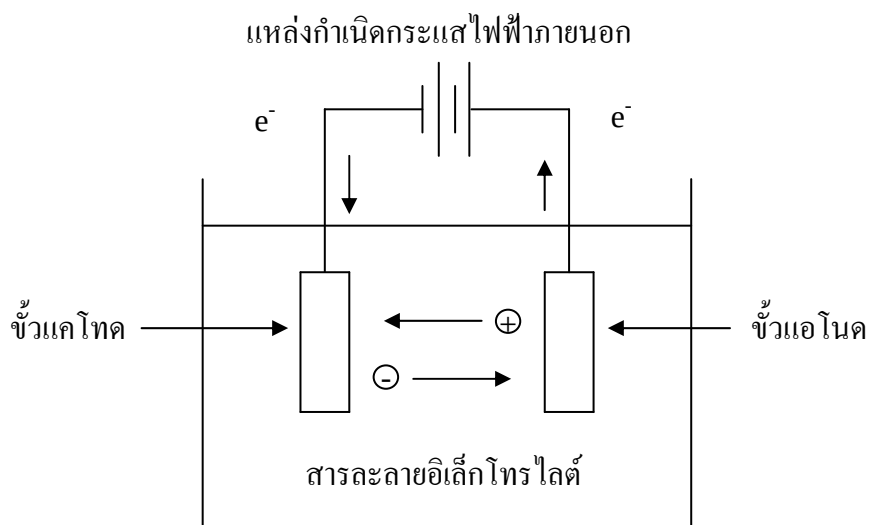
2.2 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

การแยกไอออนโลหะในสารละลายด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมีสามารถทำได้ โดยการผ่านกระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอกไปยังขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งไอออนในสารละลายสามารถแยกตัวออกจากสารละลายโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง กระบวนการไฟฟ้าเคมีมีข้อดี คือ เป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายในกาสดำเนินการต่ำไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีอื่นลงในระบบซึ่งทำให้ไม่เกิดตะกอนหรือเกิดในปริมาณต่ำ มีค่าความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสูง

กระบวนการไฟฟ้าเคมีหรือกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส คือ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งภายนอก ส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการนี้ได้แก่ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าจากภายนอก สารละลายอิเล็กโทรไลต์ และขั้วไฟฟ้าสองขั้ว

(Bard and Faulker , 1980 ; Fane , 1987 ; อินทิตรา , 2538 ; รัตนา , 2541)

แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอกเป็นส่วนที่ใช้เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าซึ่งควบคุมปริมาณของกระแสไฟฟ้าหรือศักย์ไฟฟ้าที่ผ่านเข้าระบบตามที่กำหนด ส่วนสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสโดยผ่านทางไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเดินทางของกระแสผ่านไปขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ขั้ว ในกระบวนการไฟฟ้าเคมี สมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยาและกระบวนการ เช่น องค์ประกอบ ความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด-เบส หรือแม้กระทั่งอุณหภูมิและขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว ซึ่งขั้วไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยา เรียกว่าแอโนด ส่วนขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน เรียกว่า แคโทด แสดงดังภาพ



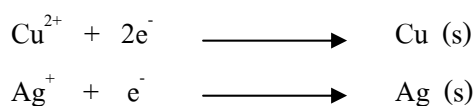
รูปที่ 2.4 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

ที่มา : คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2526

2.2.1 กฎฟาราเดย์เกี่ยวกับอิเล็กโทรไลซิส (Faradays's Law of electrolysis)

(ทบวงมหาวิทยาลัย, 2533)

ไมเคิล ฟาราเดย์ (Michael Faraday) เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรก que ศึกษาคุณสมบัติของสารละลายโดยสารละลายที่นำไฟฟ้าได้เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ส่วนสารละลายที่ไม่นำไฟฟ้าเรียกว่า นอนอิเล็กโทรไลต์ (nonelectrolyte) นอกจากนี้ฟาราเดย์ยังได้ศึกษาปริมาณวิเคราะห์ระหว่างปริมาณไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้น ในกระบวนการอิเล็กโทรไลต์หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับจำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดจากการถ่ายเทในปฏิกิริยารีดอกซ์ ปฏิกิริยารีดักชันของไอออนของโลหะ Ag และ Cu ดังสมการ



จากปฏิกิริยาของ Cu^{2+} จะได้ว่า Cu^{2+} หนึ่งโมลไอออนรับอิเล็กตรอนได้ 2 อิเล็กตรอน กลายเป็น Cu (s) 1 โมล (64 กรัม) ส่วน Ag^+ หนึ่งโมลไอออนรับอิเล็กตรอนเพียงหนึ่งจะเกิด Ag (s) 1 โมล (108 กรัม) เนื่องจากจำนวนอิเล็กตรอนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไฟฟ้า ดังนั้นใน

ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องผ่านเข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลติก เพื่อให้ไอเล็กตรอนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยา เพื่อให้เกิดออกซิเดชันและรีดักชัน เรียกว่า หนึ่งฟาราเดย์ (Faraday : F) เพราะฉะนั้นในกรณีข้างบนจะเห็นว่าต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์เพื่อให้ไอออนของโลหะเงินกลายเป็นโลหะเงินหนัก 107.87 กรัม และใช้ปริมาณไฟฟ้า 2 ฟาราเดย์ เพื่อให้ได้ทองแดงหนัก 63.54 กรัม

ปริมาณไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (Coulomb) หาได้จากความสัมพันธ์

$$Q = It \quad (1)$$

เมื่อ Q เป็นปริมาณไฟฟ้าในหน่วยคูลอมบ์ (C) , I เป็นกระแสไฟฟ้าในหน่วยแอมแปร์ (A) และ t เป็นเวลาในหน่วยวินาที (s) เพราะฉะนั้น

$$1 \text{ C} = 1 \text{ As} \quad (2)$$

ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์ (F) เป็นผลคูณของประจุไฟฟ้ากับจำนวนอิเล็กตรอนหนึ่งโมล เนื่องจากประจุของอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ $1.60210 \times 10^{-19} \text{ C}$ เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} F &= eN_A \quad (3) \\ &= (1.60210 \times 10^{-19} \text{ C})(6.02252 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) \\ &= 96,487 \text{ C mol}^{-1} \end{aligned}$$

หรือ 1 ฟาราเดย์ เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์

น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่อิเล็กโทรดโดยการผ่านปริมาณไฟฟ้า 96,487 C เข้าไปในเซลล์อิเล็กโทรไลซิสเป็นน้ำหนักสมมูลของสารนั้น ซึ่งเป็นน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากไอออนของโลหะรับอิเล็กตรอนหนึ่งโมล เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณไฟฟ้าหนึ่งฟาราเดย์จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้จากออกซิเดชันหรือรีดักชันในกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสมีไอออนของเงินและทองแดง ถ้าผ่านปริมาณไฟฟ้าเข้าไปหนึ่งฟาราเดย์แล้วเงินและทองแดงที่ได้จากรีดักชันที่แคโทดจะมีน้ำหนักเป็น 107.87 กรัม และ $63.54 / 2 = 31.77$ กรัม ซึ่งเป็นน้ำหนักกรัมสมมูลของเงินและทองแดง ตามลำดับ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากออกซิเดชันและรีดักชันมีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าหรือจำนวนฟาราเดย์ ความสัมพันธ์ดังกล่าวอาจสรุปเป็นกฎได้ เรียกว่า กฎอิเล็กโทรไลซิสของฟาราเดย์ (Faraday's Law of Electrolysis) ได้แก่

- มวลของสารที่เกิดขึ้นที่แอโนดหรือแคโทดในขณะที่เกิดอิเล็กโทรไลซิสเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในเซลล์
- มวลสารต่าง ๆ กันที่เกิดขึ้นในระหว่างการอิเล็กโทรไลซิสที่ใช้ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักสมมูลของสารนั้น ๆ

2.2.2 ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมี (ศุภชัย , 2546)

กระแสที่ไหลระหว่างขั้วไฟฟ้าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนผ่านตัวนำการผลักดันให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในวงจรจะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นเสมอ

พลังงานไฟฟ้า 1 จูล หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการเคลื่อนที่ประจุ 1 คูลอมป์ ระหว่างจุดสองจุดที่มีความต่างศักย์ 1 โวลต์ ดังนั้น

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ (W}_{\text{elect}}) = \text{Coulomb} \times \text{Volt} \quad (4)$$

แต่งานจากเซลล์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้นประจุในหน่วยคูลอมป์ จึงขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กตรอนที่ถ่ายเทในปฏิกิริยา 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีประจุ 96,487 คูลอมป์ (F) ดังนั้นงานทางไฟฟ้าสุทธิ คำนวณได้ดังสมการ (5)

$$(W_{\text{elect}}) = nEF \quad (5)$$

เมื่อ

n เป็นจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเท

E เป็นค่าความต่างศักย์

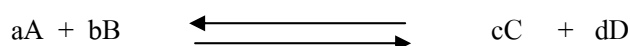
แต่งานที่เกิดขึ้นเป็นการลดค่าพลังงานอิสระของกิบส์ที่มีอยู่ในเซลล์ไฟฟ้า ในกรณีที่ปฏิกิริยาภายในเซลล์เกิดขึ้นแบบผันกลับ (reversible) การลดพลังงานอิสระ (-G) จะเท่ากับงานที่ทำ

$$-\Delta G = nEF \quad (6)$$

$$\Delta G = -nEF$$

2.2.3 สมการเนินส์ (Nernst equation)

ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ที่ประกอบด้วยความเข้มข้นของไอออนในสารละลายมีค่านอกเหนือไปจาก $a = 1$ เมื่อค่าความเข้มข้นไอออนเปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะมาตรฐานจะมีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งเราสามารถคำนวณหาค่าศักย์ไฟฟ้าโดยใช้สมการเนินส์ ซึ่งเสนอโดย วอลเทอร์ เนินส์ (Walther Nernst) ในปี ค.ศ. 1889 ซึ่งปรับปรุงจากหลักเกณฑ์พื้นฐานของเทอร์โมไดนามิก



จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระได้แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานอิสระกับความเข้มข้น (หรือแอกติวิตี) ของสารในปฏิกิริยาดังสมการ (7)

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[\text{Product}]}{[\text{Reactant}]} \quad (7)$$

หรือ

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

$$\Delta G = \Delta G^0 + 2.303 RT \log \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (8)$$

เมื่อ

$[A], [B], [C], [D]$ เป็นความเข้มข้นในหน่วย mol/l

แทนค่า $\Delta G = -nEF$, $\Delta G^0 = -nE^0F$ ลงในสมการ (8) จะได้สมการดังแสดง

$$E = E^0 - \frac{2.303}{nF} RT \log \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad (9)$$

เรียกสมการที่ (9) ว่า สมการเนินส์ (Nernst Equation) โดยที่

E = ศักย์ไฟฟ้า

E^0 = ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน

R = ค่าคงตัวของก๊าซ = 8.1441 joule / mole-K degree

T = อุณหภูมิ (K⁰)

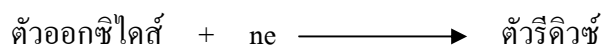
F = ฟาราเดย์ = 96,487 coulomb/mole electron (หรือ joule / volt-mole electron)

n = จำนวนอิเล็กตรอนที่ร่วมในครึ่งปฏิกิริยา

ที่อุณหภูมิ 25 °C (298 °K) $\frac{2.303RT}{F} = 0.059$ เมื่อแทนค่าในสมการ (9) จะได้สมการดังแสดง

$$E = E^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \quad (10)$$

สำหรับรีดักชัน



$$E_r = E_r^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{ตัวรีดิวซ์}]}{[\text{ตัวออกซิไดส์}]} \quad (11)$$

สำหรับออกซิเดชัน



$$E_o = E_o^0 - \frac{0.059}{n} \log \frac{[\text{ตัวออกซิไดส์}]}{[\text{ตัวรีดิวซ์}]} \quad (12)$$

2.2.4 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (ศุภชัย , 2546)

เซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic cell) คือ กระบวนการที่เกิดขึ้นโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยที่ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด ส่วนปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด และสามารถคำนวณหาค่า E_{cell} ของอิเล็กโทรไลต์ได้โดยใช้สูตรการคำนวณดังแสดง

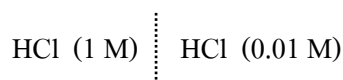
$$E_{\text{cell}} = E_{\text{red}} \text{ ของแคโทด} - E_{\text{red}} \text{ ของแอโนด} \quad (13)$$

2.2.5 ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จริงในทางปฏิบัติ (ศุภชัย , 2546)

ศักย์ไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาในตอนต้นนั้นเป็นศักย์ไฟฟ้าที่มีการวัดโดยไม่มีกระแสไหลในวงจรปกติ จะวัดโดยเครื่องโพเทนชิโอมิเตอร์ แต่เซลล์ที่ใช้งานจริงในห้องทดลองในวงจรย่อมมีกระแสไหล ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ในขณะที่ใช้งานจะมีค่าแตกต่างไปจากค่า $E_{\text{cell}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}$ ทั้งนี้ยังมีแฟกเตอร์อื่นอีกที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับศักย์ไฟฟ้าของเซลล์

1) ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแนวต่อของสารละลาย (Liquid junction potential)

เมื่อนำสารละลายอิเล็กโทรไลต์สองชนิดที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันมาสัมผัสกันจะเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นระหว่างรอยต่อของสารละลายทั้งสอง ศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อนี้เกิดจากอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ ๆ แตกต่างกันของแคตไอออนและแอนไอออนระหว่างสารละลายทั้งสองสมมติว่ามีสารละลาย HCl ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันสองสารละลาย



ทั้ง H^+ และ Cl^- มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อในทิศทางเดียวกัน อัตราการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ต่างกันเล็กน้อยเพียงไร การเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองมีแนวโน้มเคลื่อนที่จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า แต่เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแต่ละไอออนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน เช่น ในกรณีนี้ H^+ จะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า Cl^- จึงทำให้ด้านที่มีสารละลายเจือจางกว่ามีประจุเป็นบวกและด้านที่มีสารละลายเข้มข้นจะมีประจุเป็นลบ เมื่อถึงสภาวะสมดุลจะเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ระหว่างแนวต่อของสารละลายขึ้น เนื่องจากการแยกประจุทั้งสองซึ่งอาจทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าประมาณ 30 mV หรือมากกว่า ค่าของศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากรอยต่อของสารละลายจะถูกทดลองมากมาย ถ้ากั้นสารละลายทั้งสองด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูง (สะพานเกลือ) ในสารละลายเช่นนี้จะทำให้การเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองของเกลือในสะพานเกลือมีค่าใกล้เคียงกัน ปกติสะพานเกลือทำมาจากสารละลายอิ่มตัวของ KCl ในวุ้นที่แข็งตัว สารละลาย KCl 4 M หรือสูงกว่า การเคลื่อนที่ของไอออนทั้งสองจะแตกต่างกันประมาณ 4 % ถ้าเราใช้สะพานเกลือแบบนี้จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าระหว่างรอยต่อของสารละลายลดลงเหลือ 2 – 3 mV

2) ศักย์ไฟฟ้าแบบโอมห์ (Ohmic potential, IR drop)

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในเซลล์เคมีไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าทั้งจะถูกใช้ไปจำนวนหนึ่งเพื่อให้เกิดแรงผลักดันเอาชนะความต้านทานซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของไอออนไปยังแคโทดและแอโนด เช่นเดียวกับการนำไฟฟ้าของโลหะจะเป็นไปตามกฎของโอมห์ (Ohm's law) แรงผลักดันที่กล่าวนี้จะมี

ผลของ โอ อาร์ ครอฟ จะไปเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดเซลล์อิเล็กโทรไลติก (Electrolytic cell) และจะมีผลไปลดศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากแกลวานิกเซลล์ (Galvanic cell)

$$E_{\text{cell}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} - IR \quad (14)$$

3) ผลของโพลาไรเซชัน (Polarization effect)

การคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าที่ใช้เพื่อให้เกิดกระบวนการอิเล็กโทรไลติกคำนวณดังสมการ

$$E_{\text{applied}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} - IR$$

เมื่อจัดสมการใหม่เพื่อคำนวณค่า I ได้สมการดังแสดง

$$I = -\frac{1}{R} E_{\text{applied}} + \frac{1}{R} (E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}}) \quad (15)$$

E_{applied} หมายถึง ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ที่ต้องการเพื่อที่จะทำให้เกิดกระแส I แอมแปร์ ในวงจร สำหรับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณน้อยและในเวลาอันสั้น E_{cathode} และ E_{anode} จะมีค่าคงที่ซึ่งหาค่าความสัมพันธ์ได้โดยปริมาณดังนี้

$$I = -\frac{1}{R} E_{\text{applied}} + K \quad (16)$$

โพลาไรเซชัน หมายถึง สถานะของ E_{applied} มีค่ามากผิดไปจากความสัมพันธ์ในสมการ (16) โดยเฉพาะในบริเวณที่มีกระแสไหลในบริเวณค่อนข้างสูง ค่า E_{applied} ที่ต้องการเพิ่มขึ้นจากค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (16) เรียกว่า $E_{\text{overvoltage}}$ หรือ $E_{\text{overpotential}}$

เพื่อที่จะแสดงถึงผลซึ่งเกิดจากโพลาไรเซชันที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าของเซลล์โดยเขียนความสัมพันธ์ในสมการ (16) ใหม่ได้ดังนี้

$$E_{\text{applied}} = E_{\text{cathode}} - E_{\text{anode}} - IR - E_{\text{overpotential}} \quad (17)$$

โพลาริเซชันอาจเกิดขึ้นได้ทั้งสองขั้วไฟฟ้าในเซลล์เดียวกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด ได้แก่

- 3.1) ขนาด รูปร่างและองค์ประกอบ
- 3.2) องค์ประกอบของสารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 3.3) อุณหภูมิ และอัตราเร็วของการคนสารละลาย
- 3.4) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าบนขั้วไฟฟ้า (Current density, amp / cm²)
- 3.5) สมบัติทางกายภาพของแต่ละสารที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยาภายในเซลล์

2.3 สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อระบบไฟฟ้าเคมี

2.3.1 ประสิทธิภาพของขั้วแคโทดและแอโนด

ตามกฎข้อที่หนึ่งของฟาราเดย์ เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ (96,487 คูลอมบ์) ไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามกฎของฟาราเดย์ควรจะได้โลหะนิกเกิลหนึ่งโมล (29.53 กรัม) ที่ขั้วแคโทด

แต่จากการทดลองพบว่า ได้โลหะนิกเกิลที่ขั้วแคโทด 27.9 กรัมเท่านั้น จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์มีการสูญเสียไปกับปฏิกิริยารีดักชันของก๊าซไฮโดรเจน เมื่อนำน้ำหนักของนิกเกิลที่เกาะที่ขั้วแคโทดในการทดลองจริงมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักของนิกเกิลที่ควรเกิดที่ขั้วแคโทดตามทฤษฎีก็สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพของขั้วแคโทดได้

ตัวอย่างการคำนวณ

น้ำหนักของนิกเกิลที่เกาะที่ขั้วแคโทดในการทดลองจริง	=	27.9 กรัม
น้ำหนักของนิกเกิลที่เกาะที่ขั้วแคโทดตามทฤษฎี	=	29.35 กรัม
ประสิทธิภาพของขั้วแคโทด	=	$(27.9 / 29.35) \times 100$
	=	95 %

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพขั้วแอโนดสามารถคำนวณได้โดยวิธีเดียวกับการคำนวณหาประสิทธิภาพของขั้วแคโทด

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่ได้ใช้เฉพาะในการเกิดปฏิกิริยาที่ต้องการเท่านั้น แต่จะเกิดการสูญเสียไปกับการเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดเชื้อบาง ๆ รอบขั้วแคโทด

2.3.2 ค่าศักย์เกิน (Overpotential) คือ การเบี่ยงเบนของศักย์ขั้วไฟฟ้าจากศักย์สมดุล (Equilibrium potential) หรือ Polarization (เบี่ยงเบนจาก Respotential) ดังสมการ

$$\eta = E - E_0 \quad (18)$$

2.3.3 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (Current density or Current distribution)

สำหรับ species ionflux (mole/cm²-s)

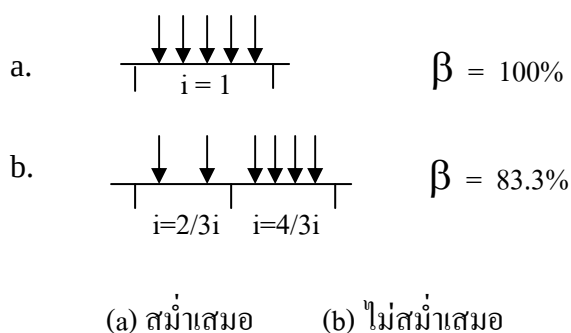
$$N = C_i V_i \quad (19)$$

เมื่อ	N	เป็นไอออนฟลักซ์ของสาร Species I , (mole/cm ² -s)
	C _i	เป็นความเข้มข้นของสารละลาย , mole / cm ³
	V _i	เป็นความเร็วของอนุภาค (particle) , cm / s

ความหนาแน่นของกระแส (A / cm²) เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาค ดังแสดงในสมการ

$$I = F \sum_i Z_i C_i V_i \quad (20)$$

นอกจากอิทธิพลของการขนส่งสารละลายแล้ว Charge Transport Process ก็มีผลต่อการแจกแจงกระแส (Current distribution) การแจกแจงกระแสจะสม่ำเสมอก็ต่อเมื่อมีการจัดเรียงตัวทางเรขาคณิต (Geometry) ของขั้วไฟฟ้าที่อยู่ในรูปแบบชัดเจน นอกจากนี้การแจกแจงความหนาแน่นกระแสแบบไม่สม่ำเสมอจะทำให้ประสิทธิภาพของกระแสของระบบอิเล็กทรอนิกส์ลดลง ดังรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นการแจกแจงของกระแสสองแบบตามความหนาแน่นของเส้นกระแส (Current line)



รูปที่ 2.5 การแจกแจงกระแสและประสิทธิภาพกระแส

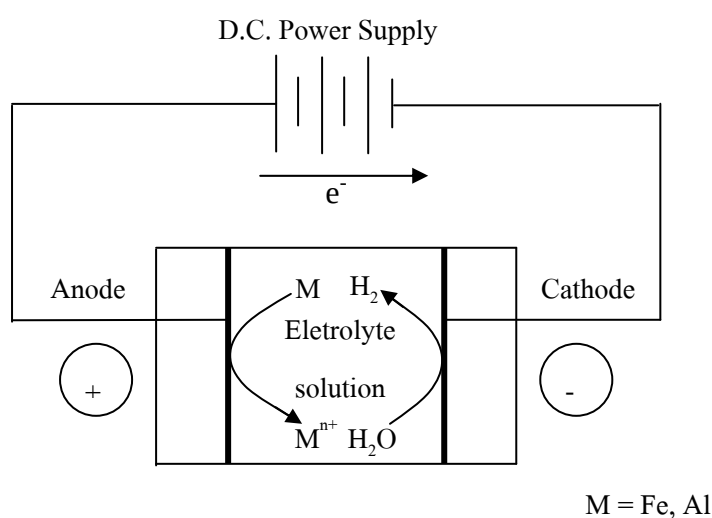
สมมติให้กระแสคงที่ I เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า และความหนาแน่นกระแสเฉลี่ยจะเท่ากับ ความหนาแน่นกระแสจำกัด (Limit Current Density) ของปฏิกิริยาขั้วกำหนด ถ้าการแจกแจงความหนาแน่นกระแสเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 2.3 a) แสดงว่าประสิทธิภาพกระแสเท่ากับ 100 % ถ้าการแจกแจงกระแสทางครึ่งซ้ายขั้วไฟฟ้าเท่ากับ $2/3 i_d$ ทางครึ่งขวาเท่ากับ $4/3 i_d$ ประสิทธิภาพจะเป็น 83.3 % ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นกระแสทางขวาซึ่งเกินความหนาแน่นกระแสจำกัด (Limit Current Density) จะถูกใช้โดย Electrochemical Side Reaction

แฟกเตอร์สำคัญที่มีอิทธิพลต่อการแจกแจงกระแส คือ

- 1) รูปทรงเลขาคณิตระบบเซลล์
- 2) ความนำไฟฟ้า (Conductivity) ของอิเล็กโทรไลต์และของไฟฟ้า
- 3) Activation Overpotential ที่ขั้วไฟฟ้าซึ่งขึ้นกับจลนะขั้วไฟฟ้า
- 4) ความเข้มข้นของสปีชีส์เกิน (Overpotential) ที่ถูกควบคุมโดยระบบ Mass Transport

2.3.4 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้า (Eletrode)

การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าสามารถจัดเรียงได้หลายสัญญาณ (Configuration) ดังแสดงในรูปที่ 2. 4 การจัดเรียงแบบสัญญาณขึ้นเดียว (Monopolar Configuration) แต่ละขั้วจะต่อโดยตรงกับแหล่งพลังงานและมีสัญลักษณ์ (+ หรือ -) เหมือนกับสองหน้าของขั้วไฟฟ้านอกสุดทั้งสองขั้วด้านทั้งสองของแผ่นขั้วไฟฟ้าแผ่นเดียว ภายในจะมีสัญลักษณ์ไม่เหมือนกัน (+ หรือ -) การจัดเรียงแบบขั้วสองจะร่ว่งง่ายกว่า สปีชีส์นี้จะพบกับผลบวกของ Potential Drop ในเซลล์ทั้งหมด แต่กระแสที่ไหลผ่านแต่ละเซลล์จะเท่ากัน



รูปที่ 2.6 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้า

2.4 ตัวแปรทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการเกาะของโลหะที่ขั้ว

2.4.1 การเกิดก๊าซ (Gas evolution)

ถ้ามีก๊าซเกิดขึ้นที่ขั้วระหว่างทำอิเล็กโทรไลซิสจะทำให้โลหะเกาะได้ไม่แน่นมีลักษณะเป็นโพรงคล้ายฟองน้ำ โดยปกติก๊าซที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทดคือ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) การป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนทำได้โดยควบคุมศักย์ไฟฟ้าของขั้วแคโทดไม่ให้มีค่าเป็นลบมาก หรือโดยการเติมสารป้องกันการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเรียกว่า แคโทดดีโพลารไรเซอร์ (Cathode depolarizer)

2.4.2 ความหนาแน่นของกระแส (Current density)

ในการเกาะของโลหะที่ขั้วพบว่า ถ้าอัตราเร็วของการเกาะมีค่ามากจะทำให้ขนาดของโลหะที่เกาะเป็นผงเล็ก ๆ เกาะไม่แน่นและเปราะ ซึ่งเป็นหลักการเกี่ยวกับการตกตะกอน ถ้าอัตราเร็วของการเกิดตะกอนมีค่ามากจะทำให้ตะกอนที่ได้มีขนาดเล็กและไม่บริสุทธิ์ อัตราเร็วของการเกาะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของกระแส ดังนั้นความหนาแน่นของกระแสควรมีค่าสูงพอประมาณ เพื่อให้โลหะเกาะที่ขั้วได้แน่นและเรียบ ถ้าความหนาแน่นของกระแสมีค่าสูงเกินไปจะทำให้เกิดก๊าซที่ขั้วได้ แต่ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเกินไปหรือบางทีไม่เกิดการเกาะของโลหะที่ขั้วเลย ปกติควรใช้ความหนาแน่นของกระแสประมาณ 0.01 – 0.1 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร

2.4.3 การคน (Stirring)

เนื่องจากความเข้มข้นเฉพาะจุด (polarization) เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในการทำอิเล็กโทรไลซิส เมื่อมีการคนทำให้เกิดโพลาไรเซชันลดลง ดังนั้นต้องมีการคนสารละลายทุกครั้งที่ทำกรวิเคราะห์

2.4.4 อุณหภูมิ (Temperature)

เมื่ออุณหภูมิสูงทำให้ไอออนในสารละลายเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดได้เร็วขึ้นเป็นการลดการเกิดโพลาไรเซชันเนื่องจากความเข้มข้น และทำให้ศักย์ไฟฟ้าเกินตัวน้อยลงได้ เมื่ออุณหภูมิสูงสารละลายมีความหนืดน้อยลง อุณหภูมิที่เหมาะสมสามารถหาได้จากการทดลอง

2.5 ตัวแปรทางเคมีที่มีอิทธิพลต่อการเกาะของโลหะที่ขั้ว

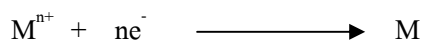
การที่อิเล็กโทรไลซิสสมบูรณ์และได้ผลดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมทางเคมีของสารละลายด้วย ผลของสภาวะแวดล้อมทางเคมีที่มีผลต่อการเกาะของโลหะที่ขั้วมีดังต่อไปนี้ คือ

2.5.1 ผลของ pH (effect of pH)

ไอออนที่ถูกรีดิวซ์ได้ง่ายกว่าไฮโดรเจนไอออน เช่น สามารถเกิดอิเล็กโทรไลซิสและเข้าเกาะที่ขั้วได้ในสารละลายที่กระทำโดยที่ไม่มีก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นรบกวน ส่วนพวกที่ถูกรีดิวซ์ได้ยากกว่าไฮโดรเจนไอออนควรทำการวิเคราะห์ในสารละลายที่เป็นกลางหรือเบส เมื่อทองแดงเกาะที่ขั้วสมบูรณ์

2.5.2 ผลของความเข้มข้น (effect of concentration)

จากสมการของเนิร์นสท์จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของครึ่งปฏิกิริยาจะมีค่าเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนดังสมการ (21)



$$E = E^0 - 0.0591 / n \times (\log (1 / [M^{n+}])) \quad (21)$$

เมื่อ M^{n+} มีค่าน้อย ค่า E จะมีค่าไปในทางลบมากกว่า ทำให้ต้องเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเข้าไปอีก เพื่อยังคงทำให้ปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ และมีการเกาะของโลหะที่ขั้วต่อไปจนกว่าสมบูรณ์ แต่ในการเพิ่มศักย์ไฟฟ้าจะมีผลทำให้ไอออนตัวอื่นที่อยู่ในสารละลายสามารถเกิดปฏิกิริยาและเกาะที่ขั้วได้ด้วย นั่นคือ การแยกอาจทำได้ไม่บริสุทธิ์ถ้าไอออนที่ต้องการวิเคราะห์มีความเข้มข้นน้อยเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนที่เป็นมลทิน

2.5.3 ผลของสารที่ทำให้เกิดคอมเพลกซ์ (Effect of complexing agent)

ผลของสารที่ทำให้เกิดคอมเพลกซ์ที่มีต่อการเกาะของโลหะที่ขั้วถูกค้นพบ โลหะหลายตัวที่เกาะติดแน่นที่ขั้วอย่างสม่ำเสมอและเรียบเป็นเงานั้นเป็นไอออนที่มาจากสารประกอบเชิงซ้อนของไอออนนั้นกับสารที่ทำให้เกิดคอมเพลกซ์ ส่วนใหญ่สารที่ทำให้เกิดคอมเพลกซ์ที่ใช้ได้ผลคือ โซยาไนด์ ไอออน (CN^-) และแอมโมเนีย (NH_3)

การแยกโลหะจากสารประกอบเชิงซ้อนให้มาเกาะที่ขั้วต้องให้ศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าการแยกไอออนนั้นจากสารละลายเกลือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ต้องใช้สามารถคำนวณได้จากค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (K_p) ของไอออนนั้น จากการที่ต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเมื่อเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจึงทำให้สามารถใช้ผลการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนมาช่วยทำให้การแยกเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาทองแดงในสารตัวอย่างเหล็กกล้าสามารถทำให้ทองแดงเกาะที่ขั้วได้โดยเหล็กไม่รบกวนเลย ซึ่งทำได้โดยเติมฟอสเฟตไอออน (PO_4^{3-}) หรือฟลูออไรด์ไอออน (F^-) ลงในสารละลาย ก่อนทำการวิเคราะห์จะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กกับฟอสเฟตและฟลูออไรด์ ทำให้เหล็กไม่รบกวนการเกาะของทองแดงที่ขั้ว

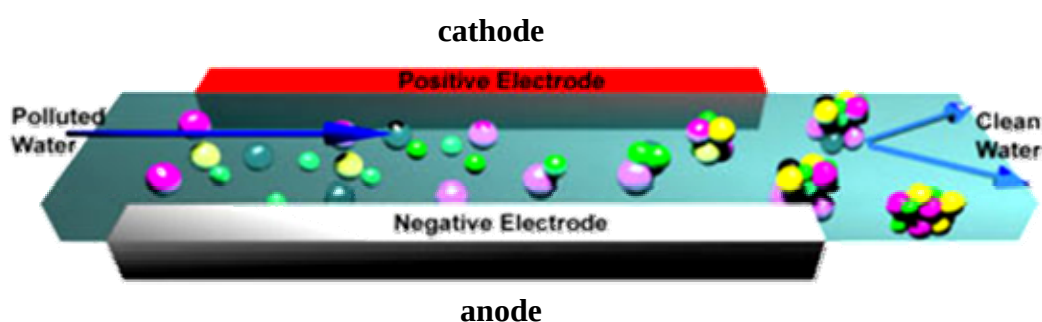
2.6 การบำบัดน้ำเสียด้วยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า

การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า หรือ Direct Electric Coagulation เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง ในการบำบัดน้ำเสีย ใช้ต้นทุนในการติดตั้งและดำเนินการต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไป อีกทั้ง ประหยัดเวลาในการบำบัดมากกว่าระบบอื่นๆ อีกด้วย ระบบนี้จึงเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายใน ต่างประเทศ แต่เป็นที่น่าเสียดายว่าในประเทศไทยมีผู้ใช้ระบบนี้น้อย หรือแทบไม่มีผู้ประกอบการใดรู้จัก ระบบนี้เลย ได้มีการใช้ระบบ Direct Electric Coagulation ในต่างประเทศ อาทิ เช่น

- ปี 1889 ใน UK (Vik et.al. 1984) London Plant สำหรับบำบัดน้ำทิ้ง
- ปี 1956 ใน UK (Matteson et.al. 1995) ใช้บำบัดน้ำจากแม่น้ำ

น้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดนี้มีลักษณะใสกว่าน้ำก่อนการบำบัดอย่างเห็นได้ชัด และส่วนใหญ่ สามารถปล่อยลงสู่ชุมชนได้ทันที หรือผ่านระบบบำบัดอื่นเพียงเล็กน้อย เพื่อให้ได้คุณสมบัติตรงตาม มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี สามารถ กำจัด สารแขวนลอย, ตะกอน, โลหะหนัก, ไขมัน, โปรตีน ฯลฯ และสามารถลดค่า BOD และ COD ได้ มากกว่า 95%

กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีเป็นกระบวนการที่อาศัยพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ภายนอก ซึ่งประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทดและขั้วแอโนดดังแสดงในรูปที่ 2.5 กระบวนการ ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีมีข้อดีคือ เป็นกระบวนการที่ทำให้สารแขวนลอยและโลหะหนักเกิดการ ตกตะกอนโดยไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีลงในระบบเหมือนกระบวนการตกตะกอนเคมี ซึ่งทำให้ เกิดตะกอนปริมาณมากแต่สามารถแยกโลหะที่ปนเปื้อนออกจากน้ำเสียได้ในปริมาณที่ต่ำ



รูปที่ 2.7 การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี

ที่มา : <http://www.aplusteam.co.th/dec.shtml>

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณวรางค์ ฤทธิวรรณะ (2545) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและปรอทในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้การตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด รวมทั้งศึกษาการสึกกร่อนของแผ่นขั้วไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิง ทดลองแบบ Batch ซึ่งใช้การจัดเรียง อิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์ โดยทำการทดลองที่สภาวะ ต่าง ๆ กัน คือ ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 55, 65 และ 75 โวลต์ และระยะเวลาในการทำ ปฏิกริยา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง การวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ดังนี้ ตอนที่ 1 : การหาระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ตอนที่ 2 : การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและปรอทในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยการ ตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี ตอนที่ 3 : การศึกษาการสึกกร่อนของแผ่นขั้วไฟฟ้า จากผลการทดลองในตอน ที่ 1 พบว่าระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ผ่าน การบำบัดแล้วที่ 24 ชั่วโมง จะให้ ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมและปรอทสูงกว่าระยะเวลาอื่น จากผลการทดลองในตอน ที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมและปรอทอยู่ในช่วง 99.01%-99.38% และ 99.96%-100.00% ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม และปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้า และ ระยะเวลาทำปฏิกริยาเพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและปรอท คือ ที่ระดับความ ต่างศักย์ไฟฟ้า 75 โวลต์ และระยะเวลาทำปฏิกริยา 4 ชั่วโมงนั้น ทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมและ ปรอท ในน้ำเสียเริ่มต้นจาก 67.17 และ 671 มิลลิกรัม/ลิตร ลดลงเหลือ 0.46 และ 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม จากผลการทดลองในตอน ที่ 3 พบว่าการใช้แผ่น เหล็กชุดเดียวกันในการบำบัดหลายครั้ง จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง โดยแผ่นเหล็กที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวก (#1) จะสามารถใช้ซ้ำได้ 2 ครั้ง ส่วนแผ่นเหล็กอื่น (#2, #3) ใช้ซ้ำได้ถึง 8 ครั้ง

สุรน ช่วยเกิด (2548) สร้างอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียโอมเพี้ยง โดยใช้ขั้วโลหะอลูมิเนียมที่เป็น ดาข่ายเป็นขั้วบวกซึ่งเป็นขั้วที่ปล่อยไอออนของโลหะอลูมิเนียมลงในน้ำ เพื่อช่วยตกตะกอนสิ่งที่เป็นสิ่ง สกปรกในน้ำแทนที่สารส้ม (ซึ่งจะทำให้เป็นการเพิ่มซัลเฟต และโพแทสเซียมลงไป) จัดเป็นการ ประดิษฐ์ในประเภทเทคโนโลยีที่สะอาดกว่าเดิมแบบหนึ่ง นอกจากนี้ดาข่ายหรือมุ้งลวดอลูมิเนียมยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย พบเห็นเป็นวัสดุของเก่าหรือเศษวัสดุโดยทั่วไป สมควรที่จะนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่ง อุปกรณ์บำบัดน้ำเสียโอมเพี้ยงนี้สามารถตกตะกอนน้ำเสียได้โดยอัตราการตกตะกอน (ต่อหน่วยเวลา) ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัส และปริมาณกระแสไฟฟ้า ดังนั้นถ้าความสกปรกของน้ำทิ้งเท่ากันการทำงาน จะมีผลมากขึ้นเมื่อเพิ่มกระแสไฟ (แอมแปร์) หรือเพิ่มศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) (หรือทั้งแอมแปร์โวลต์) เพิ่ม พื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำและขั้ว และสภาพของน้ำเสียที่เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อยจะทำให้ตะกอนที่เกิด ขึ้นอยู่ตัวได้ดี Pletcher (1996) ศึกษาและพัฒนาวิธีการกำจัดโลหะจากน้ำทิ้ง โดยวิธีการตกตะกอนด้วย ไฟฟ้าในระบบ Procell ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม มีลักษณะเป็น ทรงกระบอกโดยมีขั้วของเหลวไหลผ่านเข้า – ออกตรงกลาง ขั้วแคโทดทรงกระบอกทำจากคาร์บอนซึ่ง

มะลิ หุ่นสม (2544) ได้ทำการทดลองแยกทองแดงออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตรด้วยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า ที่พีเอชเท่ากับ 1 โดยการทดลองในช่วงกระแสไฟฟ้า $5 \text{ A/m}^2 - 25 \text{ A/m}^2$ พบว่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลองในชุดนี้คือ 10 A/m^2 พบว่าเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ประสิทธิภาพของการตกตะกอนโลหะก็เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยจะสามารถตกตะกอนทองแดงออกจากน้ำเสียได้ถึง 90 % เพียงแต่ว่าต้องการเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าที่มากกว่าสภาวะ 10 A/m^2

วรรณรัตน์ วัฒนชัย (2547) ศึกษาการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีสำหรับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากโรงงานประกอบรถยนต์ ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักด้วยโดยที่ Hg และ CN จะตกตะกอนได้เร็วกว่า Ni และ Zn โดยประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักจะแปรผันตามปัจจัยในการศึกษา การเพิ่มกระแสไฟฟ้า pH และเวลา มีผลทำให้โลหะหนักถูกกำจัดได้มากขึ้น ทั้งนี้ เมื่อเวลาในการทำปฏิกิริยามากพอประสิทธิภาพการกำจัดโลหะที่สภาวะต่าง ๆ จะไม่แตกต่างกันมากนัก น้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนมีปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิดไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมอุตสาหกรรม แต่ pH จะสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้น สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษานี้ คือ กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ pH 6.5 ใช้เวลา 210 นาที เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น พบว่าตะกอนจากการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณน้อยกว่าจากกระบวนการเคมีถึง 40 เปอร์เซ็นต์

Pruksathorn et al. (1997) ศึกษาการกำจัดโลหะจากตะกอนที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียโรงงาน โดยแบ่งงานวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกน้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพแบบ Activated sludge เพื่อกำจัดโลหะออกจากสารละลาย ขั้นตอนที่สองตะกอนที่ได้จากระบบบำบัดแบบชีวภาพในขั้นตอนที่หนึ่งจะถูกนำมาละลายเอาโลหะหนักออกด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ดังนั้นในสารละลายประกอบด้วยโลหะหลายชนิด คือ ทองแดง, นิกเกิล และโครเมียม ขั้นตอนสุดท้ายโลหะในสารละลายถูกกำจัดออกโดยกำจัดทองแดงด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพสิชัน (Electrodeposition) ส่วนนิกเกิลและโครเมียมทำการกำจัดด้วยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrodeposition) เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของนิกเกิล ($E^0 = -0.23 \text{ V / SHE}$) และโครเมียม ($E^0 = -0.74 \text{ V / SHE}$) มีค่าต่ำกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าของปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนไอออน ($E^0 = 0.00 \text{ V / SHE}$) จึงไม่สามารถกำจัดได้ด้วยวิธีอิเล็กโทรดีโพสิชัน ภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดทองแดงอยู่ที่ค่าความต่างศักย์ -30 mV / SHE ซึ่งสามารถกำจัดทองแดงได้ถึง 100 % ในระยะเวลาเพียง 4 ชั่วโมง ส่วนภาวะเหมาะสมในการกำจัดนิกเกิลและโครเมียมคือ ค่าความหนาแน่นกระแส 24 mA / cm^2 และ 1.57 mA / cm^2 ตามลำดับ

Subaiah et al. (2002); Kang et al. (1998) ได้ทำการทดลองแยกนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ให้ผลการทดลองที่ตรงกันว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าให้มากขึ้นจะทำให้ปริมาณนิกเกิลที่เหลืออยู่ในน้ำลดลงมากขึ้นด้วย โดยนอกจากนี้ Subaiah ได้กล่าวไว้ด้วยว่าเมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นขนาดของนิเกิลไฮดรอกไซด์ (the particle of nickel hydroxide) ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย