

บทที่ 1

บทนำ

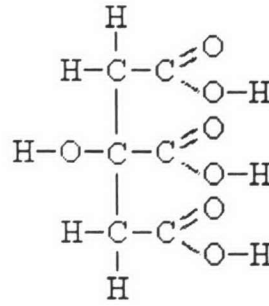
1.1 ประวัติความเป็นมา

กรดมะนาว (citric acid) เป็นกรดอินทรีย์ที่ใช้มากในอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันทั่วโลกมีความต้องการกรดมะนาวมากขึ้นทุกปี โดยมีปริมาณการผลิตประมาณ 5 ร้อยล้านกิโลกรัมต่อปี (Sarmidi และคณะ, 2002) กรดมะนาวที่ซื้อขายอยู่ในรูปกรดมะนาวโมโนไฮเดรต และในรูปปราศจากน้ำ โดยประมาณร้อยละ 60-75 ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม เนื่องจากกรดมะนาวมีรสเปรี้ยวช่วยเสริมรสอาหารให้ดีขึ้นและยังช่วยรักษาคุณภาพอาหารอีกด้วย ปริมาณร้อยละ 10 ของกรดมะนาวใช้ในอุตสาหกรรมยาโดยใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัวและใช้เป็นสารรักษาเลือดไม่ให้แข็งตัว ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 15-30 ใช้เป็นสารกำจัดฟอง และซอพเทนเนอร์ในอุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมเส้นใย นอกจากนี้ยังใช้โซเดียมซิเตรททดแทนพอลิฟอสเฟตในการผลิตผงซักฟอก (Crueger และ Crueger, 1987)

ในประเทศไทยได้มีการใช้กรดมะนาวอย่างกว้างขวาง ทั้งในอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่ม และในอุตสาหกรรมยา ซึ่งการผลิตกรดมะนาวภายในประเทศในระยะแรกนั้นใช้วิธีการหมักบนอาหารแข็ง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบและหมักด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนแต่ผลผลิตต่ำ ต่อมาจึงมีการพัฒนาหมักในอาหารเหลวและใช้จุลินทรีย์ชนิดอื่นเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น และยังสามารถควบคุมภาวะที่เหมาะสมในการหมักให้คงที่ได้อีกด้วย (ธวัชชัย มงคลวิทย์, 2536) อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตกรดมะนาวนั้น ขั้นตอนการแยกและทำให้บริสุทธิ์ก็มีความสำคัญเช่นกัน เพราะการแยกที่มีประสิทธิภาพดีจะทำให้ได้กรดมะนาวมาก ซึ่งวิธีแยกกรดมะนาวแบบเดิมที่ยังคงใช้กันจนถึงปัจจุบัน คือการแยกโดยการตกตะกอนและการแยกด้วยตัวทำละลาย แต่มีข้อเสีย คือเกิดของแข็งเหลือทิ้งในปริมาณมากและมีสารปนเปื้อนจากน้ำหมักปนออกมาด้วย ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาหาเทคนิคและวิธีการใหม่ ๆ มาใช้เพื่อช่วยแก้ปัญหา

1.2 สมบัติทางเคมีของกรดมะนาว

กรดมะนาวมีชื่อทางเคมีว่า กรด 2-ไฮดรอกซี-1,2,3-โพรเพนไตรคาร์บอกซิลิก กรดมะนาว 1 โมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 6 อะตอมและมีหมู่ฟังก์ชัน 2 ชนิด ได้แก่ หมู่คาร์บอกซิล 3 หมู่ และหมู่ไฮดรอกซิล 1 หมู่ มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกรดมะนาว

กรดมะนาวที่อยู่ในรูปปราศจากน้ำ (anhydrous citric acid) มีสูตรโมเลกุล $C_6H_8O_7$ และมีน้ำหนักโมเลกุล 192.13 มีค่า pK ที่ 25 องศาเซลเซียส ดังนี้ $pK_{a_1} = 3.128$ $pK_{a_2} = 4.761$ และ $pK_{a_3} = 6.396$ ลักษณะทั่วไปเป็นผลึกสีขาวมีรสเปรี้ยว มีความเป็นพิษต่ำ ย่อยสลายได้ง่าย ละลายได้ดีในน้ำ โดยอุณหภูมิยิ่งสูงความสามารถในการละลายน้ำจะดียิ่งขึ้น (Bouchard และ Merritt, 1979) สำหรับมาตรฐานของกรดมะนาวที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมนั้น ต้องมีคุณลักษณะทางเคมีตามพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์ทางอุตสาหกรรมซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 1.1 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 คุณลักษณะทางเคมีตามมาตรฐานกรดมะนาว

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	
		กรดมะนาวโมโนไฮเดรต	กรดมะนาวปราศจากน้ำ
1	ความบริสุทธิ์ $C_6H_8O_7$, จำนวนในสภาพแห้ง ร้อยละ	99.5 ถึง 101.0	99.5 ถึง 101.0
2	น้ำ ร้อยละ	7.5 ถึง 8.8	ไม่เกิน 0.5
3	กากที่เหลือจากการเผา ร้อยละ ไม่เกิน	0.05	0.05
4	ออกซาเลต มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	350	350
5	ซัลเฟต มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	150	150
6	สารหนู มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	3	3
7	โลหะหนัก (คำนวณเป็นตะกั่ว) มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	10	10
8	แบเรียม	สารละลายตัวอย่างต้องไม่ขุ่นกว่าสารละลายมาตรฐานสอบเทียบ	
9	แคลเซียม มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	200	200
10	เหล็ก มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	50	50
11	คลอไรด์ มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ไม่เกิน	50	50
12	สารที่สลายให้คาร์บอนได้ง่าย (readily carbonizable substrate)	สีของสารละลายตัวอย่างต้องไม่เข้มกว่าสีของสารละลายมาตรฐาน	

ที่มา : พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (กรดมะนาว) พ.ศ.2535

1.3 ประโยชน์ของกรดมะนาว

ปัจจุบันทั่วโลกมีความต้องการกรดมะนาวอย่างมากและยังต้องการเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 2-3 ต่อปี (Goldberg และคณะ, 1991) เนื่องจากกรดมะนาวมีความสามารถในการละลายสูง ความเป็นพิษต่ำ มีรสเปรี้ยวเป็นที่ยอมรับ และมีคุณสมบัติในการจับไอออนของโลหะหนักและการเป็นบัฟเฟอร์ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มาก (Bouchard และ Merritt, 1979; Matley, 1992) นำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มประมาณร้อยละ 70 ใช้ในอุตสาหกรรมเภสัชกรรมประมาณร้อยละ 12 และอีกประมาณร้อยละ 18 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งรายละเอียดของการใช้ประโยชน์จากกรดมะนาวมีดังนี้

1.3.1 อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ใช้กรดมะนาวเป็นสารให้ความเปรี้ยวและเพิ่มรสชาติในการทำผลไม้ อาหารกระป๋อง น้ำขวด เจลลี่ ขนมหวานจำพวกแยม ป้องกันการบูดเสียในเครื่องดื่มเนยแข็งและเนยเหลว ป้องกันการขุ่นและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในไวน์ ป้องกันการตกผลึกของน้ำผึ้ง ช่วยเพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำขวด เป็นต้น (Goldberg และคณะ, 1991)

1.3.2 อุตสาหกรรมทางเภสัชกรรม ใช้เป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหารโดยผสมกับไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนต ซึ่งทำให้เกิดฟองฟูในน้ำดื่ม ใช้กรดมะนาวและโซเดียมซิเตรท ในการเตรียมสารละลายสำหรับการป้องกันการแข็งตัวของเลือด และช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการเตรียมวิตามิน เป็นต้น (Bouchard และ Merritt, 1979)

1.3.3 อุตสาหกรรมด้านอื่นๆ เช่น ในอุตสาหกรรมผงซักฟอกมีการใช้เกลือไตรโซเดียมซิเตรทแทนสารเทระโพแทสเซียมไพโรฟอสเฟต เนื่องจากย่อยสลายง่าย ไม่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของวัชพืชน้ำ และไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องสำอาง จะใช้เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรดค่าในครีมนวดผผ น้ำยาดัดผม น้ำยาทำความสะอาดใบหน้าและโลชั่น ในอุตสาหกรรมโลหะ ใช้กรดมะนาวเป็นส่วนผสมในน้ำยาดัดโลหะ น้ำยาล้างสนิม นอกจากนี้ยังใช้ป้องกันการเกิดเมือกและตะกรันในอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบออสโมซิสผันกลับ (Reverse osmosis) อีกด้วย (Bouchard และ Merritt, 1979)

1.4 การผลิตกรดมะนาว

การผลิตกรดมะนาวเป็นการค้าในระยะแรกๆ นั้น จะผลิตจากน้ำผลไม้ โดยการตกตะกอนสารละลายของกรดมะนาวในน้ำผลไม้ในรูปของเกลือแคลเซียมซิเตรท เรียกกรดมะนาวที่ผลิตโดยวิธีนี้ว่า กรดมะนาวธรรมชาติ (natural citric acid) ซึ่งการผลิตกรดมะนาวจากน้ำผลไม้ได้ผลผลิตต่ำ จึงทำให้มีผู้พยายามคิดการผลิตกรดมะนาวด้วยวิธีอื่น (Kapoor และคณะ, 1983)

ในปี ค.ศ.1880 Grimoux และ Adams ได้สังเคราะห์กรดมะนาวจากกลีเซอรอล แต่เนื่องจากวัตถุดิบมีราคาแพง, ต้องใช้ปฏิกิริยาหลายขั้นตอน ใช้สารก่อกำเนิดที่เป็นอันตรายและให้ผลผลิตไม่คุ้มค่า จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นการค้า (Mattey, 1992; Milsom และ Meers, 1985)

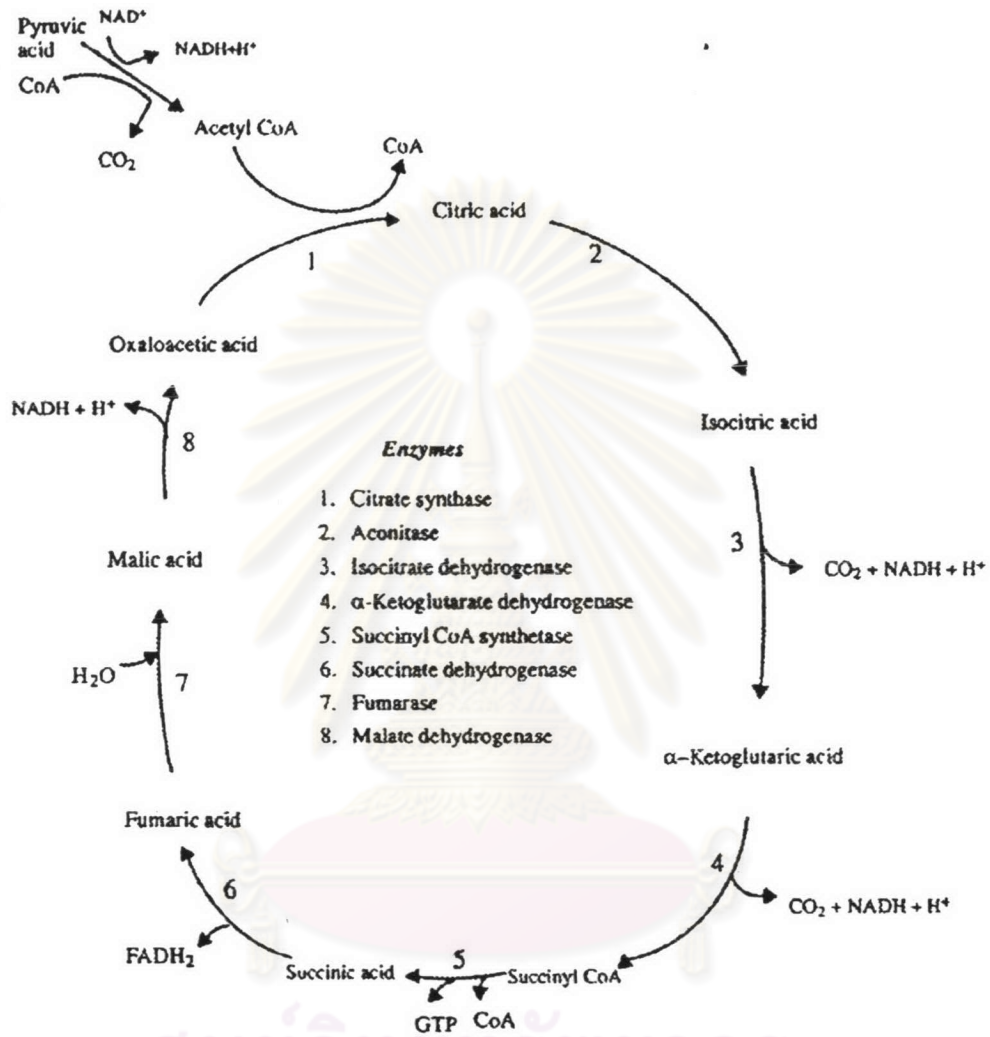
ในปี 1893 Wehmer ค้นพบการผลิตกรดมะนาวจากจุลินทรีย์เป็นครั้งแรกโดยพบเชื้อรา 2 ชนิด คือ *Mucor* และ *Citromyces* (ปัจจุบันคือ *Penicillium*) สามารถผลิตกรดมะนาวในอาหารที่มีน้ำตาลชูโครสเป็นองค์ประกอบ (Marison, 1988) และเรียกกรดมะนาวชนิดที่ผลิตโดยวิธีนี้ว่ากรดมะนาวจากการหมัก (fermentation citric acid) แต่ยังไม่สามารถผลิตเป็นการค้าได้

ในปี 1917 Currie ได้รายงานการผลิตกรดมะนาวโดยเชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus niger* สามารถผลิตกรดมะนาวได้ดีในอาหารที่มีน้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนและมีค่าความเป็นกรดต่ำซึ่งช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ได้ (Kubicck และ Rohr, 1986)

การผลิตกรดมะนาวโดยจุลินทรีย์นอกจากเชื้อราแล้วยังพบว่าแบคทีเรียและยีสต์หลายสกุลก็สามารถผลิตกรดมะนาวได้เช่นกัน ปัจจุบันมีการผลิตกรดมะนาวจากกระบวนการหมักซึ่งส่วนใหญ่ผลิตโดยเชื้อรา *Aspergillus niger* และบางส่วนผลิตโดยยีสต์ *Yarrowia lipolytica* สำหรับแบคทีเรียไม่ได้รับความสนใจเพราะให้ผลผลิตต่ำเมื่อเทียบกับราและยีสต์ (Marison, 1988)

การผลิตกรดมะนาวโดยยีสต์ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากยีสต์มีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับเชื้อรา เช่นยีสต์สามารถใช้แหล่งคาร์บอนได้หลายชนิดและสามารถทนต่อความเข้มข้นของยับสเตรตสูงๆ ได้ทำให้มีโอกาสเลือกยับสเตรตที่เหมาะสมที่สุด, ยีสต์มีการเจริญเร็วกว่าราทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลง, การเพาะเลี้ยงยีสต์ทำได้ง่ายกว่าราและสามารถพัฒนาการผลิตเป็นแบบกระบวนการต่อเนื่องได้ในการผลิตกรดมะนาวในสภาพอาหารเหลว ยีสต์มีลักษณะเป็นเซลล์เดี่ยวจึงไม่มีปัญหาการฉีกขาดของเส้นใยโดยการกวนในขณะหมักแบบเดียวกับรา ไม่วิวต่อไอออนของโลหะดังนั้นยีสต์จะให้ผลผลิตสูงกว่ารา (Marison, 1988) แต่การผลิตกรดมะนาวโดยยีสต์มีข้อเสียคือมีการปนเปื้อนของกรดไอโซซิทริกจึงทำให้ต้องมีการคัดเลือกและปรับปรุงสายพันธุ์ ตลอดจนหาภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้ได้กรดมะนาวปริมาณมากและกรดไอโซซิทริกปริมาณต่ำลง การผลิตกรดมะนาวโดยใช้ยีสต์ในสภาพอาหารเหลว ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในประเทศอุตสาหกรรม เนื่องจากให้ผลผลิตสูง ใช้แรงงานต่ำ และใช้พื้นที่น้อยและควบคุมภาวะต่างๆ ในระหว่างการหมักได้ดี เนื่องจากสามารถป้องกันการปนเปื้อนได้ง่าย

อย่างไรก็ตามเนื่องจากกรดมะนาวที่ได้จากการหมักโดยจุลินทรีย์ซึ่งจะใช้แหล่งคาร์บอนหรือน้ำตาลผ่านกระบวนการไกลโคไลซิสแล้วเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ (Kreb's cycle) หรือ TCA (tricarboxylic acid cycle) โดยกรดมะนาวนี้เป็นมัธยันตร์ในวัฏจักรเครบส์ (Aiba, 1986) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ทำให้พบว่าน้ำหมักของกรดมะนาวจึงมีสารปนเปื้อนและสารประกอบพลอยได้จากวัฏจักรดังกล่าวด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนการแยกกรดมะนาวออกจากน้ำหมัก



รูปที่ 1.2 วิธีการผลิตกรดมะนาวโดยยีสต์ผ่านทางวัฏจักรเครปส์ (Walker, 1998)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 การแยกกรรมะนาว

วิธีการแยกกรรมะนาว จะเริ่มจากการแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำหมักโดยการกรองแยก หรือการปั่นเหวี่ยง (Lizuka และคณะ, 1971) จากนั้นจึงนำหมักที่ได้มาแยกกรรมะนาวซึ่งสารปนเปื้อนในน้ำหมักจะมากขึ้นกับวัตถุดิบและเชื้อที่ใช้ในการผลิตกรรมะนาว โดยวิธีการแยกกรรมะนาวที่ใช้ทั่วไปในเชิงการค้ามี 2 วิธี (Pazouki และPanda, 1998) ดังนี้

1.5.1 การแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักโดยการตกตะกอน (Classical method)

วิธีนี้เป็นวิธีการแยกแบบดั้งเดิมซึ่งมีประสิทธิภาพดี คือ สามารถตกตะกอนแยกสถานะเป็นของแข็ง ได้สารประกอบของเกลืออัลคาไลน์เอิร์ทซึ่งมีสารปนเปื้อนอยู่น้อย วิธีนี้ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ขั้นตอนการแยกโดยการตกตะกอนมีดังนี้

นำน้ำหมักที่ปราศจากเซลล์มาตกตะกอนด้วยแคลเซียมออกไซด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมคาร์บอเนต แล้วกรองแยกกรรมะนาวในรูปเกลือแอลคาไลน์เอิร์ทออกจากน้ำหมัก ขณะกรองต้องล้างสารปนเปื้อนที่จับตะกอนด้วยน้ำจนกระทั่งตะกอนสะอาด แล้วนำตะกอนที่ได้มาละลายด้วยกรดซัลฟิวริก ไอออนของแคลเซียมจะรวมตัวกับไอออนซัลเฟตเป็นเกลือแคลเซียมซัลเฟต ซึ่งมีสมบัติละลายน้ำได้น้อยจึงสามารถแยกออกจากสารละลายกรรมะนาวด้วยการกรอง ซึ่งข้อเสียของการแยกด้วยวิธีนี้ คือ เกิดของแข็งเหลือทิ้งแคลเซียมซัลเฟตในปริมาณมากซึ่งการแยกกรรมะนาว(monohydrated citric acid) 1 กิโลกรัมจะทำให้เกิดแคลเซียมซัลเฟตถึง 2 กิโลกรัม (Annadurai และคณะ, 1996; Bailly และคณะ, 2001) และอาจเกิดการปนเปื้อนของเศษแคลเซียมซัลเฟตที่แตกหักด้วย(Pazouki และPanda, 1998)

1.5.2 การสกัดกรรมะนาวด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction)

การแยกกรรมะนาวด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ ไม่มีของเหลือทิ้งจากระบวนการแยก โดยการสกัดสามารถใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายเอมีน หรือด้วยเกลือเอมีน ซึ่งการสกัดด้วยเกลือเอมีนมีประสิทธิภาพสูงสุดดังในรายงานของ Beniel (1982) โดยเกลือเอมีนมีความจำเพาะสูงจึงสามารถสกัดกรรมะนาวที่ความเข้มข้นต่ำๆได้ ซึ่งหลังจากสกัดแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักให้อยู่ในตัวสกัดเอมีนแล้ว ต้องสกัดแยกกรรมะนาวออกจากตัวทำละลายเอมีนอีกครั้งด้วยน้ำ โดยประสิทธิภาพการสกัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ ภาวะ และจำนวนขั้นตอนที่ใช้ในการสกัดเพื่อให้สูญเสียกรรมะนาวน้อยที่สุด การสกัดกรรมะนาวด้วยตัวทำละลายมีข้อเสียคือ การแยกด้วยวิธีนี้จะมีสารปนเปื้อนจากน้ำหมักปนออกมามาก โดยเฉพาะน้ำหมักที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบจึงไม่เหมาะสม (Samidi และคณะ, 2002)

เพื่อที่จะแก้ปัญหาจากวิธีการแยกแบบดั้งเดิมนี้อิเล็กโทรไดแอลลิสเป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ, ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งจากการแยก, สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบไปเป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก, สามารถดำเนินการแบบต่อเนื่องได้ และอัตราการเกิดผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543; Scott, 1995)

1.6 การประยุกต์ใช้กระบวนการอิเล็กโทรไดแอกซิซ

อิเล็กโทรไดแอกซิซเป็นกระบวนการแยกทางไฟฟ้าเคมี โดยใช้เยื่อแผ่นที่มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน และมีความต่างศักย์ไฟฟ้าของขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่สองด้านของเยื่อแผ่นเป็นแรงขับเคลื่อนในการแยกองค์ประกอบที่มีประจุ(ไอออน) ออกจากสารละลาย โดยกระบวนการนี้เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ช่วงต้นของปี ค.ศ.1900 และมีการใช้ในเชิงการค้าประมาณปี 1952 โดยใช้สำหรับแยกเกลือเพื่อผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยหรือน้ำทะเล และในช่วงประมาณปี 1980 ได้มีการพัฒนานำเอากระบวนการอิเล็กโทรไดแอกซิซมาใช้ทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพเพื่อกำจัดเกลือ (salting out) ออกจากโปรตีนในขั้นตอนการทำโปรตีนให้บริสุทธิ์ (Moo-Young, 1985) ซึ่งปัจจุบันมีการนำเอากระบวนการนี้มาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ดังนี้

1.6.1 การแยกเกลือจากน้ำกร่อยเพื่อผลิตน้ำดื่ม

เป็นการประยุกต์ใช้ อิเล็กโทรไดแอกซิซตั้งแต่เริ่มพัฒนากระบวนการนี้ขึ้นมา ปัจจุบันก็ยังเป็นการใช้งานหลักอยู่ โดยถ้าน้ำมีความเข้มข้นของเกลือต่ำกว่า 500 ppm จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยสามารถเพิ่มความเข้มข้นของเกลือได้สูงถึงร้อยละ 18 – 20 ซึ่งข้อมูลในปี 1992 ประมาณว่ามีโรงงานผลิตน้ำดื่มจากน้ำกร่อยโดยอิเล็กโทรไดแอกซิซมากกว่า 2000 แห่ง คิดเป็นปริมาณน้ำสะอาดมากกว่า 1,000,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

1.6.2 การผลิตเกลือ

ในการผลิตเกลือจากน้ำทะเลซึ่งมีความเข้มข้น 30,000 – 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้อิเล็กโทรไดแอกซิซ จะสามารถเพิ่มความเข้มข้นได้ถึง 200 กรัมต่อลิตร เพื่อนำไประเหยน้ำต่อไป เป็นวิธีที่ใช้อย่างกว้างขวางในญี่ปุ่น ซึ่งผลิตเกลือได้มากกว่า 3,500,00 ตันต่อปี

1.6.3 การบำบัดน้ำเสีย

การแยกโลหะจากน้ำทิ้งหรือส่วนน้ำล้างของโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อสโมซิสผันกลับ อิเล็กโทรไดแอกซิซได้เปรียบกว่าตรงที่สามารถใช้เยื่อแผ่นที่มีความทนทานต่อความร้อนได้ดีกว่า จึงทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ดี ข้อเสียของอิเล็กโทรไดแอกซิซสำหรับการใช้งานนี้คือ แยกได้เฉพาะไอออนทำให้มีสารโมเลกุลเล็กอื่นๆเหลือค้างอยู่ นอกจากนี้ยังมีศักยภาพในการบำบัดน้ำทิ้งอื่นๆ เช่นน้ำทิ้งจากโรงกลั่น น้ำหล่อเย็น แต่ยังไม่กว้างขวาง ส่วนใหญ่อยู่ในระดับห้องปฏิบัติการ

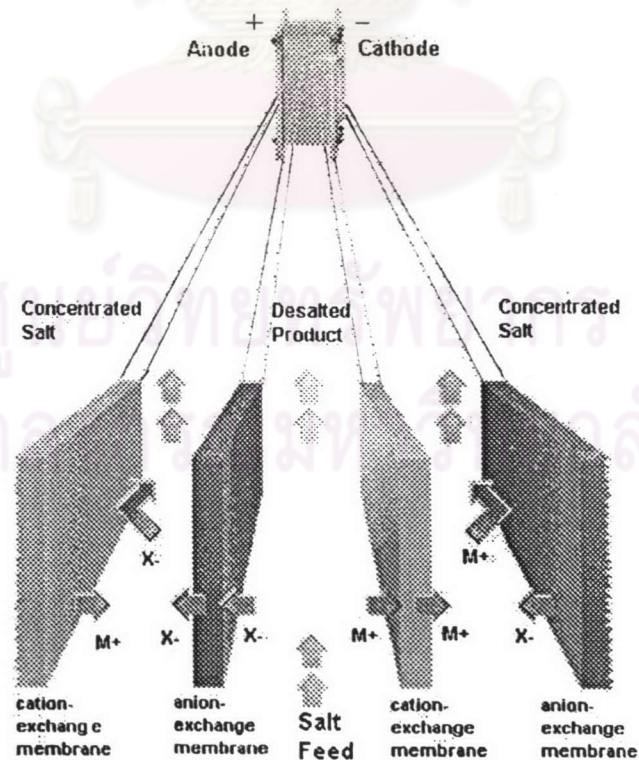
1.6.4 อุตสาหกรรมเคมี อาหารและยา

มีการศึกษาและประยุกต์ใช้หลายอย่าง เช่น การแยกเกลือจากหางนมที่เกิดจากการผลิตชีส ซึ่งมีของแข็งที่ละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลแลคโทส โปรตีน เกลือแร่ ไขมัน และกรดแลคติก หางนมเป็นแหล่งโปรตีนที่ดีแต่มีปริมาณเกลือสูงเกินไปและพบว่าการใช้อิเล็กโทรไดแอกซิซ สามารถแยกเกลือบางส่วนออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้งานอื่นๆ เช่น การแยกกรดคาร์บอริก กรดอะมิโน ออกจากไวน์และน้ำผลไม้ (Audinos, 1989) นอกจากนี้ในส่วนของการผลิตทางเทคโนโลยีชีวภาพได้มีการนำอิเล็กโทรไลต์มาใช้ควบคู่กับการหมักเพื่อแยกกรดแลคติก (Yao และ Toda, 1990) กรดโพรพิโอนิกและกรดอะซิติก (Zhang และคณะ, 1993) จากน้ำหมักเพื่อช่วยให้อัตราการผลิตกรดอยู่ในระดับสูงโดยป้องกันการเกิดการยับยั้งเนื่องจากผลิตภัณฑ์ (product inhibition)

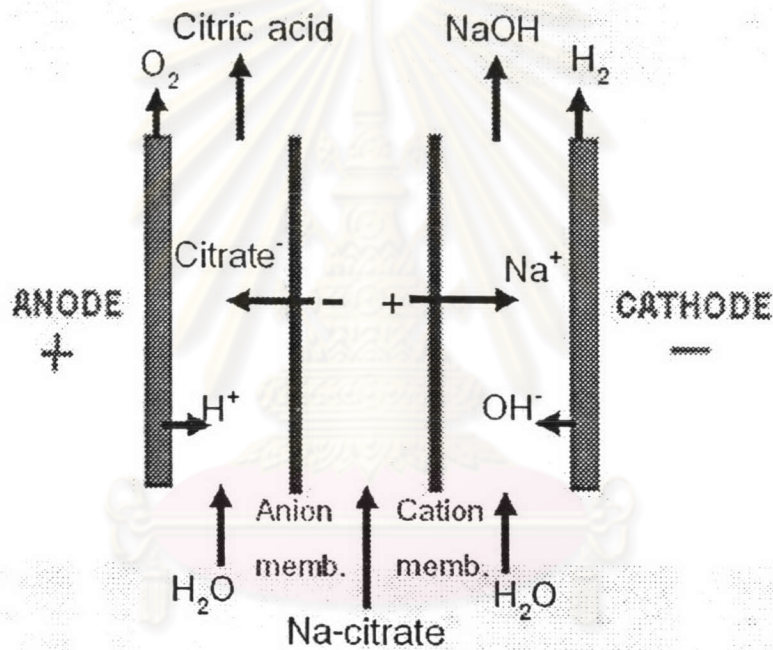
1.7 หลักการของกระบวนการอิเล็กโทรไลต์

ลักษณะทั่วไปของกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ แสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งประกอบด้วยเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนบวก (cation exchange membrane) และเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนลบ (anion exchange membrane) ต่ออนุกรมต่อกันอยู่ระหว่างขั้วลบ (cathode) และขั้วบวก (anode) เมื่อสารละลายอิเล็กโทรไลต์ถูกป้อนเข้าสู่ระบบ ภายใต้ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและลบ ไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ และไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก โดยที่ไอออนบวกจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนบวกไปหาขั้วลบได้ แต่จะถูกกักไว้ด้วยเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนลบ ในทางตรงข้าม ไอออนลบสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนลบไปหาขั้วบวกได้ แต่จะถูกกักไว้ด้วยเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนบวก ส่งผลให้ได้สารละลายสองกระแส คือสารละลายที่มีไอออนสูง หรือเข้มข้นกับสารละลายเจือจางที่ไอออนถูกแยกออกไป (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)



รูปที่ 1.3 ลักษณะทั่วไปของกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ (Eurodia Industrie, 2004)

สำหรับการแยกกรดมะนาวออกจากน้ำหมักด้วยอิเล็กโทรไลซิสนั้นใช้หลักการเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.4 โดยเมื่อป้อนน้ำหมักซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้าไปในระบบ ไอออนบวกหรือโซเดียมไอออนจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ โดยสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยน ไอออนบวกไปได้ ซึ่งโซเดียมไอออนจะไปรวมตัวกับไฮดรอกซิลไอออนซึ่งเกิดจากน้ำบริเวณขั้วลบ เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในทางตรงกันข้าม ไอออนลบหรือซิเตรทไอออนจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก โดยสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนไอออนลบไปได้ ซึ่งซิเตรทไอออนจะไปรวมตัวกับไฮโดรเจนไอออนซึ่งเกิดจากน้ำบริเวณขั้วบวกเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้กรดซิตริกหรือกรดมะนาว



รูปที่ 1.4 การแยกกรดมะนาวออกจากน้ำหมักด้วยอิเล็กโทรไลซิส

การเคลื่อนที่ของไอออนในระบบของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส อธิบายได้ดังนี้ ไอออนของสารอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายสามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน โดยอาศัยกลไก 3 แบบ (Krol, 1997; เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ, 2542) คือ

การย้ายที่ (migration) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในสารละลายนั้น โดยไอออนบวกเคลื่อนที่เข้าหาขั้วลบ ในขณะที่ไอออนลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วบวก ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอออนขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วไฟฟ้า

การแพร่ (diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า จนกว่าไม่เกิดความแตกต่างของความเข้มข้น โดยอัตราการของการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นที่ต่างกัน

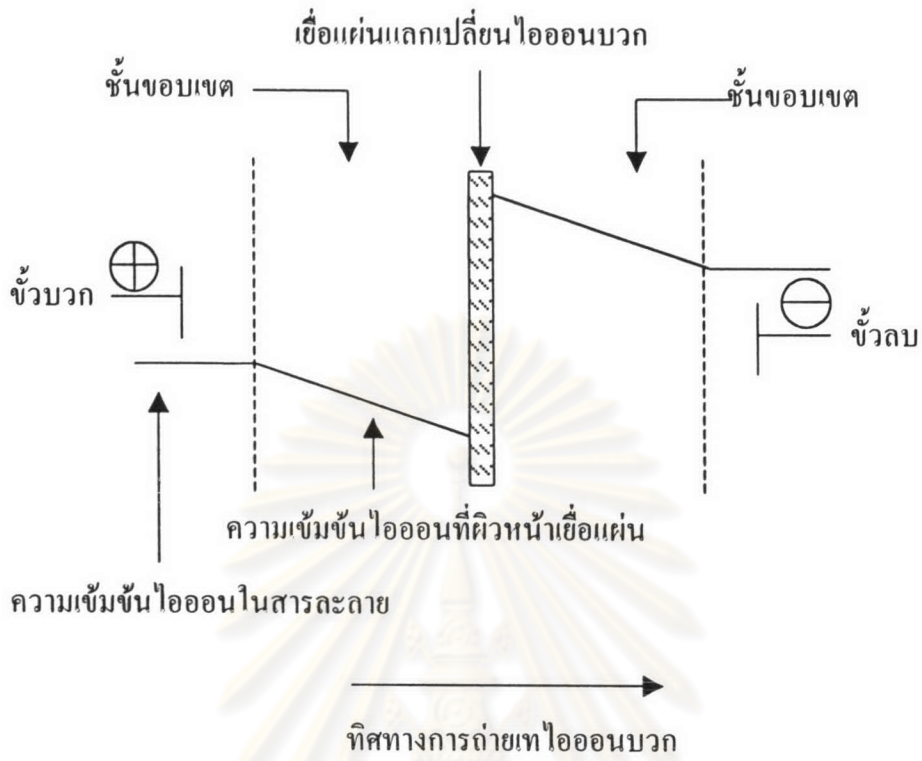
การพา (convection) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนอันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิหรือความหนาแน่นของสารละลายหรือด้วยกลไกภายนอก เช่น การป้อนสารละลายโดยใช้แรงดันจากปั๊ม ซึ่งเป็นการเร่งการเคลื่อนตัวของไอออนภายในสารละลาย อย่างไรก็ตามการพานั้นเกิดขึ้นน้อยมากในเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

1.8 ข้อจำกัดของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส

ปรากฏการณ์ซึ่งเป็นข้อจำกัดต่อประสิทธิภาพของกระบวนการอิเล็กโทรไลซิส มีดังนี้

1.8.1 Concentration polarization

สำหรับกระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่นจะกล่าวถึงการเกิด concentration polarization อยู่เสมอ ซึ่งการเกิด concentration polarization หมายถึง การสะสมของตัวถูกละลายบริเวณผิวหน้าของเยื่อแผ่นส่งผลให้เกิดการสะสม (fouling) และทำให้ฟลักซ์ลดลง สำหรับกระบวนการอิเล็กโทรไลซิสก็มีการเกิด concentration polarization เช่นกัน ดังรูปที่ 1.5 แสดงการเกิด Concentration Polarization โดยเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่อยู่ในเซลล์ระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ นั้นยอมให้ไอออนบวกเคลื่อนที่ผ่านไปขั้วลบได้ แต่เนื่องจากการที่ไอออนในเยื่อแผ่นเคลื่อนที่เร็วกว่าในสารละลายจึงทำให้ความเข้มข้นไอออนบริเวณผิวหน้าเยื่อแผ่นลดลงอย่างรวดเร็วและเกิดการสะสมไอออนที่ผิวหน้าเยื่อแผ่นอีกด้าน ดังนั้นจึงเกิดผลต่างระหว่างความเข้มข้นที่ผิวเยื่อแผ่นกับในสารละลายซึ่งเกิดเป็นชั้นขอบเขต (boundary layer) ซึ่งความต้านทานในการถ่ายเทไอออนส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นขอบเขต ซึ่งคือบริเวณที่ไอออนลดย่อยลง และทำให้ความต้านทานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำลง (Krol, 1997; รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)



รูปที่ 1.5 แสดงการเกิด Concentration Polarization ของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบวก (รัตนา จิระรัตนานนท์, 2543)

1.8.2 Kinetic polarization

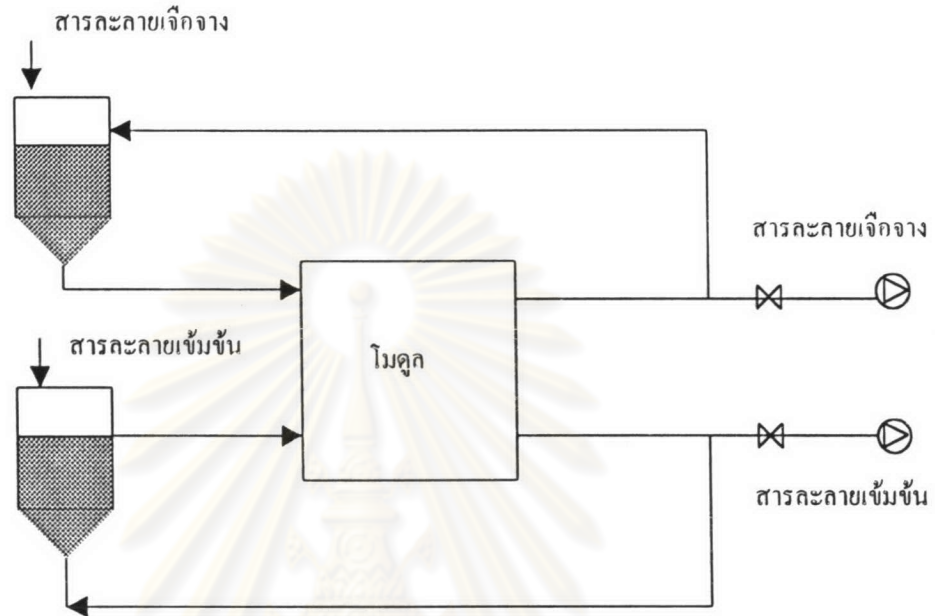
ปฏิกิริยารีดักชัน-ออกซิเดชันที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของขี้วไฟฟ้าซึ่งทำให้เกิดแก๊สขึ้นนั้น จะส่งผลให้เกิด polarization แบบนี้ได้มาก โดยแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะไปขวางกั้นบริเวณผิวหน้าขี้วไฟฟ้าส่งผลให้การใช้ขี้วไฟฟ้ามีประสิทธิภาพลดลง(Crow, 1996)

1.9 การออกแบบระบบอิเล็กโทรไลต์

อุปกรณ์อิเล็กโทรไลต์ อาจประกอบด้วยชุดเซลล์หลายชุดหรือใช้เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนต่อเรียงกันหลายแผ่นก็ได้ เป็นลักษณะ plate and frame โดยแต่ละตู้ของเยื่อแผ่นจะกันด้วย spacer ซึ่งเป็นแผ่นตระแกรงพลาสติกเพื่อควบคุมการไหลให้เกิดการไหลแบบเทอร์มินัล(Baker, 2000) ระบบของอิเล็กโทรไลต์แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ แบบกะ (batch) แบบป้อนและปล่อยออก (feed and bleed) และแบบต่อเนื่อง (continuous) (Leitz, 1986)

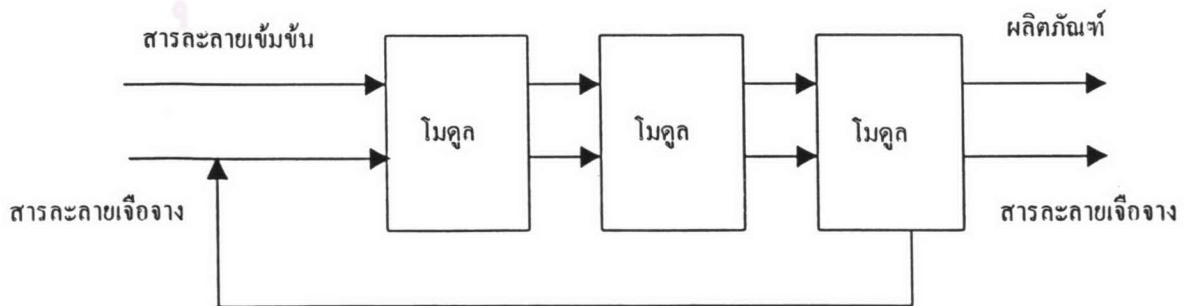
1.9.1 อิเล็กโทรไลต์แบบกะ (batch) ระบบนี้จะอาศัยการวนกลับของสารที่ต้องการแยก เพื่อให้สารที่แยกได้มีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น ระบบนี้จะมีการเติมสารที่ต้องการแยกลงในภาชนะกัก

เก็บเพียงครั้งเดียว แล้วให้ระบบไหลวนผ่านสารละลายเข้าไปในตัวโมดูล ส่วนสารละลายเข้มข้นก็จะมี การไหลวนเช่นเดียวกัน โดยเมื่อความเข้มข้นของสารที่ต้องการแยกหรือสารละลายเจือจางมีตัวถู กละลายปริมาณน้อยจึงหยุดการทำงานของระบบ ระบบนี้ไม่ยุ่งยากนักใช้อุปกรณ์ไม่มาก เหมาะกับกำลัง การผลิตที่ไม่สูง ข้อเสีย คือควบคุมภาวะภายในระบบไม่ได้



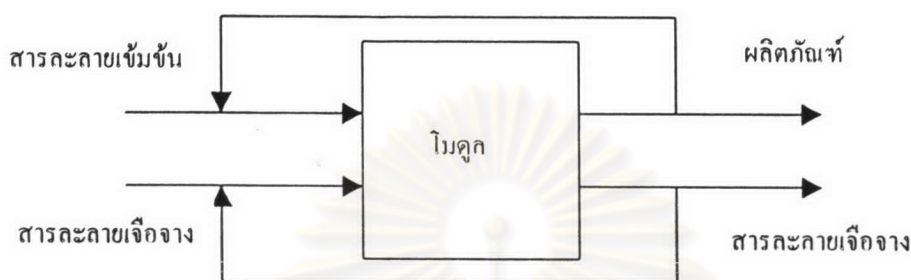
รูปที่ 1.6 อิเล็กโทรไลซิสแบบกะ

1.9.2 อิเล็กโทรไลซิสแบบต่อเนื่อง (continuous) ระบบนี้ใช้โมดูลมากกว่า 1 ตัว ซึ่งสารละลายเข้มข้นและสารละลายเจือจางไหลทางเดียวกัน ในส่วนของสารละลายเข้มข้นจะป้อนผ่านโมดูล อิเล็กโทรไลซิสแต่ละตัวอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ สำหรับสารละลายเจือจางนั้นจะป้อน ผ่านโมดูลตั้งแต่ตัวแรกจนถึงตัวสุดท้ายเช่นเดียวกันแต่สามารถนำมาเวียนกลับเพื่อเพิ่มปริมาณการแยก ของตัวถูกละลาย(recovery) ข้อดี คือเหมาะกับกระบวนการผลิตที่มีกำลังสูง แต่ต้องมีการควบคุมตัว แปรต่างๆให้สมดุลกัน และการลงทุนสูง



รูปที่ 1.7 อิเล็กโทรไลซิสแบบต่อเนื่อง (Leitz, 1986)

1.9.3 อิเล็กโทรไลต์แบบป้อนและปล่อยออก (feed and bleed) ระบบนี้ต้องมีการวนกลับของสารป้อนทั้งสารละลายเข้มข้นและเจือจางคล้ายกับแบบกะ แต่ระบบนี้จะสามารถดึงผลิตภัณฑ์ออกมาและป้อนสารใหม่เข้าไปในระบบขณะกำลังดำเนินกระบวนการได้ ซึ่งจะสามารถควบคุมภาวะในระบบให้คงที่โดยทำให้อัตราการผลิตคงที่ด้วย



รูปที่ 1.8 อิเล็กโทรไลต์แบบป้อนและปล่อยออก (Leitz, 1986)

1.10 ตัวแปรสำคัญของกระบวนการอิเล็กโทรไลต์

ปริมาณไอออนที่สามารถถ่ายเทผ่านเยื่อแผ่นได้แปรผันโดยตรงกับกระแสไฟฟ้า หรือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ดังนั้น กระแสที่ใช้สำหรับการแยกไอออนปริมาณหนึ่ง คือ

$$I = \frac{zFq\Delta C_i}{n\eta}$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้า

z คือ จำนวนประจุของไอออน

F คือ ค่าคงที่ฟาราเดย์

q คือ อัตราการไหลของสารละลาย

ΔC_i คือ ผลต่างของความเข้มข้นของไอออนระหว่างช่องความเข้มข้นและเจือจาง

n คือ จำนวนคู่อิเล็กตรอน

η คือ ประสิทธิภาพกระแส

กระแสไฟฟ้า I สัมพันธ์กับความต่างศักย์ V และความต้านทาน R ดังกฎของโอมห์

$$V = IR$$

โดย R ในที่นี้เป็นความต้านทานของเยื่อแผ่นทั้งหมด โดย

$$R = nR_{cp}$$

เมื่อ R_{cp} คือ ความต้านทานของเยื่อเซลล์
 n คือ จำนวนเยื่อเซลล์

ใน 1 เยื่อเซลล์ ประกอบด้วยความต้านทานต่างๆ ต่อกันดังนี้

$$R_{cp} = R_{am} + R_{dc} + R_{cm} + R_{cc}$$

เมื่อ R_{am} คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนลบ
 R_{dc} คือ ความต้านทานของช่องสารละลายเจือจาง
 R_{cm} คือ ความต้านทานของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนบวก
 R_{cc} คือ ความต้านทานของช่องสารละลายเข้มข้น

จากสมการแสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่มีผลต่อการนำไฟฟ้าขึ้นขึ้นอยู่กับสมบัติของสาร คือ ความเข้มข้นและประจุของไอออน ความต้านทานของเยื่อแผ่นและจำนวนเยื่อแผ่น รวมทั้งภาวะของระบบ เช่น อัตราการไหลของสารละลาย

1.11 การประเมินสมรรถนะของกระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส

การประเมินสมรรถนะของกระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิสสามารถประเมินได้จากค่าฟลักซ์และพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการแยกสาร (Moresi และ Sappino, 1998) ดังนี้

1.11.1 ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่เปลี่ยนไปในช่องสารละลายเข้มข้นต่อหน่วยพื้นที่เยื่อแผ่นและเวลา

$$J_s = \frac{\Delta m_s}{A_m \Delta t}$$

เมื่อ J_s คือ ฟลักซ์ของตัวถูกละลาย
 Δm_s คือ มวลของตัวถูกละลายที่ผ่านเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน
 A_m คือ พื้นที่ของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน
 Δt คือ เวลา

1.11.2 พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกสาร คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสาร ϵ หน่วยมวล

$$\epsilon = \frac{\phi \int_0^{\Delta t} I dt}{\Delta m_s}$$

เมื่อ ϵ คือ พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกตัวถูกละลาย
 ϕ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า
 I คือ กระแสไฟฟ้า
 t คือ เวลา
 Δm_s คือ มวลของตัวถูกละลายที่ผ่านเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

โดยฟลักซ์ของตัวถูกละลาย แสดงถึงอัตราการแยกผลิตภัณฑ์ซึ่งที่ฟลักซ์สูงการแยกจะเกิดขึ้นเร็ว ส่วนพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกสารจะบ่งถึงประสิทธิภาพในการแยกสาร เมื่อการแยกมีประสิทธิภาพดีย่อมใช้พลังงานในการแยกต่ำ (Moresi และ Sappino, 1998)

1.12 งานวิจัยการแยกกรดอะมิโนด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิส

ปี ค.ศ. 1986 Voss ได้ริเริ่มทดลองนำกระบวนการอิเล็กโทรไดอะลิซิสมาใช้แยกกรดอะมิโนออกจากน้ำมะนาว โดยออกแบบระบบที่ใช้เยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนลบแผ่นเดียว กับระบบที่ใช้ทั้งเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออนลบและบวกด้วยกัน พบว่าสำหรับระบบอิเล็กโทรไดอะลิซิสที่ใช้เยื่อแผ่น 2 ชนิดนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าใช้เยื่อแผ่นเพียง 1 แผ่น และที่กระแสไฟฟ้า 50 มิลลิแอมแปร์ เป็นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการแยกกรดอะมิโน เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่านี้ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะต่ำลง แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการใช้กระแสไฟฟ้าและความเข้มข้นของน้ำมะนาวนั้นขึ้นอยู่กับ การเกิด concentration polarization

ปี ค.ศ. 1995 Novalic และคณะได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการแยกกรรมะนาวจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตด้วยอิเล็กโทรไลต์ โดยมีการจุดประสงค์เพื่อให้ได้ฟลักซ์ของมวลสูงๆ พบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดต่างของสารละลายโซเดียมซัลเฟตสูงขึ้นจะทำให้ได้ฟลักซ์มวลเพิ่มมากขึ้น คือที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4.7 ฟลักซ์มวลเท่ากับ 5×10^{-5} กิโลกรัมต่อตารางเมตร.วินาที แต่เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรดต่างเป็น 7.5 ฟลักซ์มวลเพิ่มขึ้นเป็น 20×10^{-5} กิโลกรัมต่อตารางเมตร.วินาทีและที่ความเข้มข้นของสารป้อนในช่วงร้อยละ 5 – 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ไม่มีผลต่อฟลักซ์มวล และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 303 เคลวินเป็น 313 เคลวิน พบว่าฟลักซ์มวลเพิ่มขึ้นร้อยละ 15

ปี ค.ศ. 1996 Datta และ Bergemann จดสิทธิบัตรกระบวนการผลิตกรรมะนาวและแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ โดยการหมักด้วยเชื้อรา *Aspergillus niger* ด้วยอาหารเหลวที่ควบคุมความเข้มข้นของแมงกานีส 2.5 – 20 ppb ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 1.5 – 3.0 หลังจากการหมักจึงนำน้ำหมักไปกรองเพื่อแยกสัณนิษารออก แล้วนำส่วนน้ำหมักไปแยกกรรมะนาวด้วยอิเล็กโทรไลต์ วิธีนี้การแยกกรรมะนาว 1 กิโลกรัมจะใช้พลังงานประมาณ 0.3 - 0.5 กิโลวัตต์.ชั่วโมง

ปี ค.ศ. 1998 Moresi และ Sappino ทดลองแยกกรรมะนาวจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตด้วยอิเล็กโทรไลต์โดยเวียนแบบกะในระดับโรงงานย่อยส่วน เพื่อศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิต่อตัวแปรต่างๆ แล้วนำมาหาสมการเพื่อทำนายค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งพบว่าที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงและอุณหภูมิสูงจะนำไฟฟ้าได้ดี ทำให้ฟลักซ์ซัลเฟตสูงและแยกได้กรรมะนาวความเข้มข้นสูง จึงเหมาะสมที่จะเลือกค่าความเป็นกรดต่างของโซเดียมซัลเฟตที่ 5-7 และอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส มาใช้ในกระบวนการแต่ทั้งนี้ต้องมีค่านึงถึงความสมดุลทางเศรษฐศาสตร์ในเรื่องของการลงทุน รักษาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น ข้อมูลของการแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักด้วยอิเล็กโทรไลต์ยังมีอยู่ไม่มาก โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้เป็นสารละลายในรูปกรรมะนาวหรือโซเดียมซัลเฟตเพื่อศึกษาตัวแปรที่มีต่อประสิทธิภาพและอัตราการแยกผลิตภัณฑ์เป็นส่วนมาก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกรรมะนาวที่ผลิตนั้นมาจากการหมักด้วยเชื้อจุลินทรีย์จึงจำเป็นต้องมีการแยกกรรมะนาวออกจากน้ำหมัก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการแยกกรรมะนาวด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลต์โดยจะเน้นการศึกษาและอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อการแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลต์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสามารถนำไปใช้ในการขยายส่วน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำกระบวนการอิเล็กโทรไลต์ มาใช้ควบคู่กับการหมักในถังหมักเพื่อเพิ่มผลผลิต

1.13 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาและอธิบายผลของปัจจัยที่มีต่อการแยกกรรมะนาวจากน้ำหมักด้วยกระบวนการอิเล็กโทรไลต์

1.14 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบและประกอบเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการแยกกรดมะนาวออกจากน้ำหมัก
2. ศึกษาปัจจัยที่มีต่อการแยกกรดมะนาวจากน้ำหมักด้วยกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์โดยปัจจัยที่มีผล ดังนี้
 - ปัจจัยทางเคมี ได้แก่ ความเข้มข้นของสารป้อนและค่าความเป็นกรดต่าง
 - ปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้า อัตราการไหลของสารละลาย และอุณหภูมิ

1.15 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อธิบายผลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการแยกกรดมะนาวจากน้ำหมักด้วยอิเล็กทรอนิกส์
2. เป็นแนวทางในการนำกระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ควบคู่กับการหมักในถังหมัก เพื่อเพิ่มผลผลิต



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย