

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ธวัชชัย มงคลวิทย์. 2536. การแยกและตกผลึกกรดมะนาวจากน้ำหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประเสริฐ หาญใจเมือง. 2537. การผลิตกรดมะนาวจากแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการย่อยแล้วด้วยยีสต์
Candida oleophila C-73 . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พระราชบัญญัติมาตรฐานอุตสาหกรรม (กรดชนิดริก) พ.ศ. 2535. ราชกิจจานุเบกษา 109 (15 ธันวาคม
2535):2.
- เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ. 2542. เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รัตนา จิระรัตนานนท์. 2543. กระบวนการอิเล็กโตรไดอะไลซิส. กระบวนการแยกด้วยเยื่อแผ่น
สังเคราะห์. โรงพิมพ์ไทยเส็ง
- เรวดี เลิศไตรรักษ์. 2535. กรดมะนาวจากนอร์มัล พาราฟินส์โดยวิธีการหมักในอาหารเหลวด้วยยีสต์.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วาสนา เข้มเกตุ. 2540. การผลิตกรดมะนาวในระดับขยายส่วนโดย *Candida oleophila* C-73.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมศักดิ์ นาคชื้อตรง. 2537. การปรับปรุงสายพันธุ์ *Candida oleophila* C-73 เพื่อผลิตกรดมะนาว.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Aiba, S. 1986. Utilization of microorganisms for the production of chemicals. Perspectives in
Biotechnology and Applied Microbiology. pp.81-95.
- Annadurai, G., Raju, V., Chellapandian, M. and Krishnan, M.R.V. 1996. Citric acid production.
Bioprocess Engineering. 16: 13-15
- Audinos, R. 1989. Fouling of ion selective membranes during electro dialysis of grape must.
Desalination. 41: 115-126
- Bailly, M., Balmann, H.R., Aimer, P., Lutin, F. and Cheryan, M. 2001. Production processes of
fermented organic acids targeted around membrane operations: design of the concentration
step by conventional electro dialysis. Journal of Membrane Science. 191: 129-142
- Baker, R.W. 2000. Ion exchange membrane processes - Electro dialysis. Membrane Technology and
Applications. pp.373-403. New York: McGraw-Hill.

- Baniel, A.M. 1982. Extraction of organic acids from aqueous solutions. US patent n. 4,334,095. June, 8, 1982.
- Bernfeld, P. 1955. Amylases, α and β In Colowick, S.P. and Kaplan, N.O. (eds.), Method in Enzymology, vol 3, pp. 149-150. New York : Academic Press.
- Bonnin, A. and Linnhoff, F. 1988. Industrial applications of the aqualyzer electro dialysis process using fine thickness cells. Desalination. 68: 265-277
- Bouchard, E.F., and Merritt, E.F. 1979. Citric acid. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol.6, pp. 150-179. New York : John Wiley & Sons.
- Crow, D.R. 1996. Principles And Applications of Electrochemistry. Cornwall UK: Blackie Academic and Professional.
- Crueger, W., and Crueger, A. 1987. Organic acid in biotechnology. Industrial Microbiology. pp. 109-112. New York: Academic Press.
- Datta, R., Bergemann, E.P. 1996. Process for producing citric acid and monovalent citrate salts. US patent n. 5,532,148. July, 2, 1996.
- Eurodia Industrie. Monopolar membrane electro dialysis[online]. (n.d.). Available from: <http://www.eurodia.com/html/elep.html>[2004, August 26]
- Fausett, L.V. 1999. Applied Numerical Analysis Using MATLAB. pp.376-379. New Jersey: Prentice Hall.
- Goldberg, I., Peleg, Y. and Roken, J.S. 1991. Citric, fumaric and malic Acid. Biotechnology and Food Ingredients. pp. 349-358. New York: Van Nostard Reinhold.
- Hattenba, K. and Kneifel, K. 1986. The effect of cell thickness and flow velocity on water cost in desalination by electro dialysis. Desalination. 58: 33-41
- Kapoor, K.K., Chaudhary, K. and Tauro, P. 1983. Citric acid. Prescott and Dunn's Industrial Microbiology. (4th. Ed.). pp.709-747. Westport: AVI Publishing.
- Krol, J.J. 1997. Ion exchange membranes. Mass transport limitations. The Netherlands: J.J.Krol Print. Available from: www.membrane.nl/serve/theses/john_krol/THESIS_john_k.pdf[2002, March 3]
- Kubicek, C.P., and Rohr, M. 1986. Citric acid fermentation. Critical Reviews In Biotechnology. 3: 331-373.
- Leitz, F.B. 1986. Measurements and control in electro dialysis. Desalination. pp.381-401
- Lizuka, H., Shimizu, J., Ishii, K. and Nakajima, Y. 1971. Process for the production of citric acid fermentation. US patent 3,622,455.

- Luo, G.S., Pan, S. and Liu, J.G. 2002. Use of the electrodialysis process to concentrate a formic acid solution. Desalination. 105: 227-234
- Marison, W. 1988. Citric acid production. In Scragg, A.H. (ed.). Biotechnology for Engineer: Biological Systems in Technological Process. pp.322-336. New York: John Wiley & Sons.
- Mattey, M. 1992. The production of organic acid. Critical Reviews In Biotechnology. 12(1/2) : 87-132.
- Milsom, P.E. and Meers, J.L. 1985. Citric acid. In M.Moo Young (ed). Comprehensive Biotechnology. vol.3 pp.665-680. London: Pergamon Press.
- Moo-Young, M. 1985. Electrodialysis. The Principles, Applications and Regulations of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine. Vol.2, pp.575-590. MA: Pergamon Press.
- Moresi, M. and Sappino, F. 1998. Effect of some operating variables on citrate recovery from model solutions by electrodialysis. Biotechnology and Bioengineering. 59: 344-350
- Moresi, M. and Sappino, F. 2000. Electrodialytic recovery of some fermentation products from model solutions: techno-economic feasibility study. Journal of Membrane Science. 164:129-140
- Novalic, S., Jagschits, F., Okwor, J. and Kulbe, K.D. 1995. Behaviour of citric acid during electrodialysis. Journal of Membrane Science. 108: 201-205
- Pazouki, M. and Panda, T. 1998. Recovery of citric acid – a review. Bioprocess Engineering. 19: 435-439
- Prentice, G. 1991. Electrochemical engineering principles, p.29. New Jersey: Prentice-Hall International. Cited in Moresi, M. and Sappino, F. 1998. Effect of some operating variables on citrate recovery from model solutions by electrodialysis. Biotechnology and Bioengineering. 59: 344-350
- Sarmidi, M.R., Lay-Pee Ling and Heng-Fatt Leow. 2002. Citric acid concentration by electrodialysis: ion and water transport modeling. Journal of Membrane Science. 199: 59-67
- Scott, K. 1995. Electrochemical membrane separation processes. Electrochemical process for clean technology. pp.101-118. Cornwall UK: Hartnolls.
- Voss H. 1986. Deacidification of citric acid solutions by electrodialysis. Journal of Membrane Science. 27: 165-171
- Walker, G.M. 1998. Yeast Physiology and Biotechnology. pp. 206-210. England : John Wiley & Sons.

- Yao, P. and Toda, K. 1990. Lactic acid production in electro dialysis culture. J. Gen. Appl. Microbiol., 36: 111-125
- Zhang, S., Matsuoka, H. and Toda, K. 1993. Production and recovery of propionic and acetic acids in culture of *Propionibacterium shermanii*. Journal of Fermentation and Bioengineering. vol.75, 4:276-282.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. อาหารสำหรับการเตรียมหัวเชื้อ (Yeast Malt Extract Medium)

1.1 อาหารเหลว

ในอาหาร 1 ลิตร ประกอบด้วย

สารสกัดจากยีสต์	3.0	กรัม
สารสกัดจากมอลต์	3.0	กรัม
เปปโตน(Peptone)	5.0	กรัม
กลูโคส	10.0	กรัม

ละลายอาหารในน้ำจืดที่อุณหภูมิห้อง ปริมาณอาหาร 50 มิลลิกรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิกรัม นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

1.2 อาหารวุ้นแข็งลาดเอียง

เตรียมโดย เติมน้ำตาล 20.0 กรัม ลงในสูตรอาหารเหลวข้อ 1.1 คั้นให้วุ้นละลาย จากนั้น เปิดอาหารลงในหลอดทดลองขนาด 16 x 150 ปริมาตร 5 มิลลิกรัม ปิดด้วยจุกสำลี นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้น นำหลอดทดลองมาวางเอียงให้ผิวหน้าของอาหาร มีความยาวประมาณ 12 เซนติเมตร เมื่ออาหารแข็งตัว จึงเก็บเข้าตู้เย็นเพื่อไว้ใช้งานต่อไป

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. อาหารสำหรับการผลิตกรดอะมิโนในระดับถึงหมักขนาด 5 ลิตร

ในอาหาร 1 ลิตร ประกอบด้วย

กลูโคส	220.0	กรัม
แอมโมเนียมคลอไรด์	2.0	กรัม
โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต	0.2	กรัม
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต	0.5	กรัม
แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต	0.2	กรัม
สารสกัดจากยีสต์	1.0	กรัม
แคลเซียมคาร์บอเนต	120.0	กรัม

แยกสารอาหารออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. กลูโคส
2. แอมโมเนียมคลอไรด์ โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต
แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตาไฮเดรต แมงกานีสซัลเฟตโมโนไฮเดรต
3. สารสกัดจากยีสต์

นำส่วนที่ 1-3 ไปนึ่งฆ่าเชื้อพร้อมถังหมักและสารกำจัดฟอง ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ความดัน 7.2 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 30 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดย HPLC

1.1 การเตรียมสารละลายตัวพา (mobile phase) สำหรับการวิเคราะห์กรดอะมิโนโดย HPLC
ละลายไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 5 กรัมต่อลิตร ในน้ำที่กำจัดไอออนแล้วอย่างดีปรับค่าความเป็นกรดเบสเท่ากับ 2.00 ด้วยกรดฟอสฟอริก แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเซลลูโลสอะซิเตดที่มีขนาด 0.45 ไมครอน จากนั้น กำจัดก๊าซโดยใช้เครื่องกวนคัลลินอัลตราโซนิค (sonicator) เป็นเวลา 20 นาที

1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดอะมิโน
เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดอะมิโนเข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร โดยชั่งกรดอะมิโนแอนไฮดริสมาตรฐาน 0.2500 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสารเปรียบเทียบภายใน (กรดทาร์ทาริก)
เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดทาร์ทาริกเข้มข้น 80 กรัมต่อลิตร โดยชั่งกรดทาร์ทาริกมาตรฐาน 2.000 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

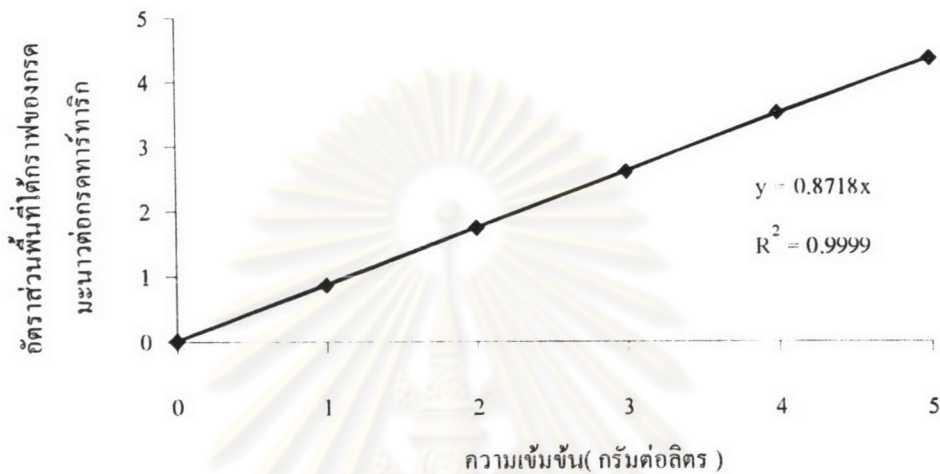
2. การเตรียมสารละลายกรดไดโนโตรซาลิไซลิกสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ละลายกรดไดโนโตรซาลิไซลิก 1.0 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และเติมน้ำจืดไอออน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารโพแทสเซียมทาทเรต ($\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำจืดไอออน และเก็บสารละลายในขวดสีชา

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

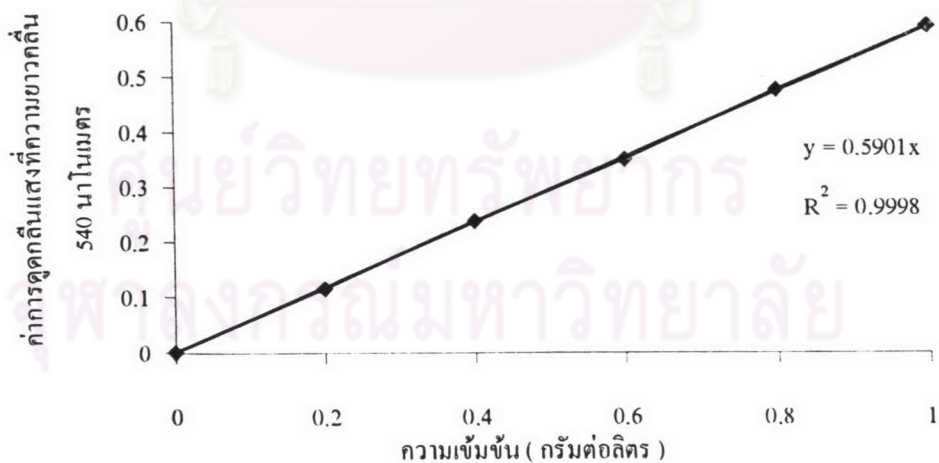
ภาคผนวก ค
กราฟมาตรฐาน

1. กราฟมาตรฐานของกรดมะนาว โดยวิธี HPLC



รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานของกรดมะนาวในช่วงความเข้มข้น 0.0-5.0 กรัมต่อลิตร
กรดมะนาว = พื้นที่ที่ได้กราฟของกรดมะนาวต่อกรดทาร์ทาริก x 1/ความชัน x ความเงิอจาง

2. กราฟมาตรฐานของกลูโคส



รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานของกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 0.0-1.0 กรัมต่อลิตร
ปริมาณกลูโคส = ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร x 1/ความชัน x ความเงิอจาง

ภาคผนวก ง

การคำนวณ

1. ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density)

$$j = \frac{I}{A_m}$$

เมื่อ j คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

I คือ กระแสไฟฟ้า

A_m คือ พื้นที่ของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

ตัวอย่างการคำนวณ

ระบบใช้กระแสไฟฟ้า 26.95 มิลลิแอมแปร์ซึ่งพื้นที่การใช้งานของเยื่อแผ่นเท่ากับ 0.0035

ตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า} &= \frac{(26.95 / 1000) \text{ แอมแปร์}}{0.0035 \text{ ตารางเมตร}} \\ &= 7.7 \text{ แอมแปร์ต่อตารางเมตร} \end{aligned}$$

2. ฟลักซ์ซิเตรท (citrate flux)

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

เมื่อ J_s คือ ฟลักซ์ซิเตรท

Δm_s คือ มวลของซิเตรทที่ผ่านเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

A_m คือ พื้นที่ของเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

Δt คือ เวลา

ตัวอย่างการคำนวณ

ความเข้มข้นของกรดอะมิโนที่แยกได้ ที่เวลา 0 มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0 กรัมต่อลิตร เมื่อเวลาผ่านไป 15 นาที ความเข้มข้นของกรดอะมิโนเพิ่มขึ้นเป็น 1.1776 กรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาตรสารละลายที่มีในภาชนะกักเก็บสารละลายเท่ากับ 50 มิลลิเมตร พื้นที่การใช้งานของเยื่อแผ่น 0.0035 ตารางเมตร

$$\begin{aligned} \text{ฟลักซ์ซีเตรท} &= \frac{((1.1776 - 0) \times 10^{-3} \text{ กิโลกรัม} / 1000 \text{ มิลลิเมตร}) \times 50 \text{ มิลลิเมตร}}{(0.0035 \text{ ตารางเมตร}) \times (15 \text{ นาที} \times 60 \text{ วินาที})} \\ &= 1.8692 \times 10^{-5} \text{ กิโลกรัมต่อตารางเมตร.วินาที} \end{aligned}$$

3. พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน (specific energy consumption)

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

เมื่อ ε คือ พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน

ϕ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

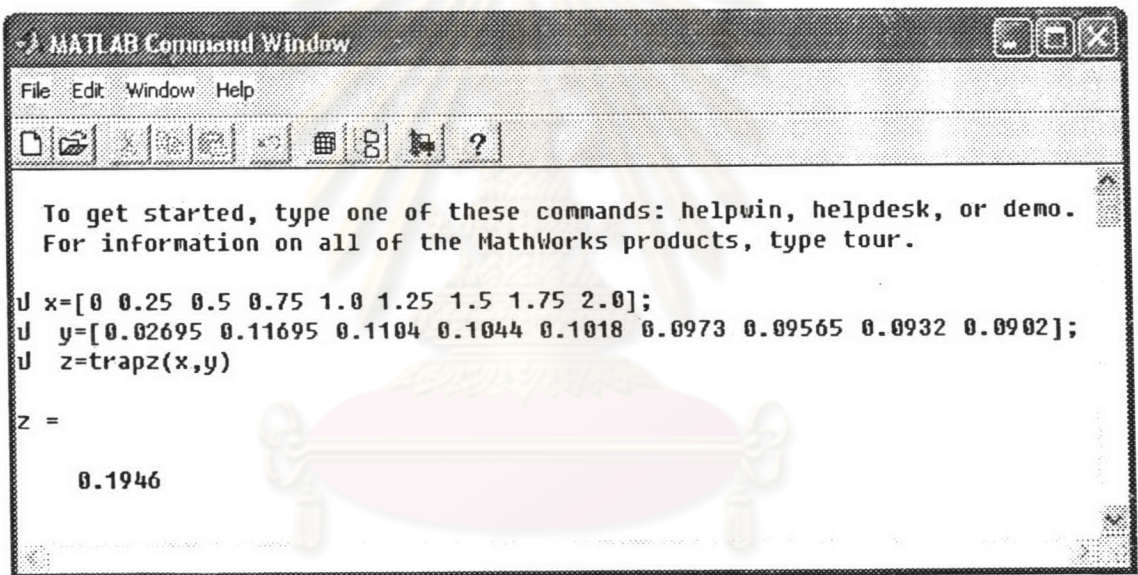
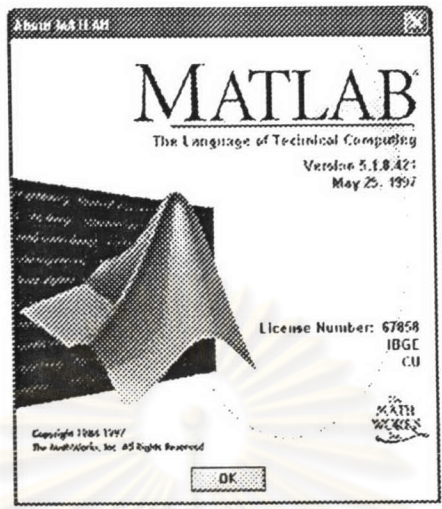
I คือ กระแสไฟฟ้า

t คือ เวลา

Δm_s คือ มวลของซีเตรทที่ผ่านเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนไอออน

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.1 นำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน โดยในส่วนของกราฟอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลา สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม MATLAB ตามวิธีของ Fausett(1999) ซึ่งใช้กฎ Trapezoid โดยข้อมูลของกระแสไฟฟ้าจะทำให้อยู่ในหน่วยแอมแปร์ ส่วนเวลาอยู่ในหน่วยชั่วโมง ซึ่งการป้อนข้อมูลในโปรแกรม MATLAB สามารถทำได้ดังนี้



รูปที่ ง.1 การใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลา

- โดย ค่า x คือ เวลา (ชั่วโมง)
- ค่า y คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)
- ค่า z คือ พื้นที่ใต้กราฟของกระแสไฟฟ้าและเวลา (แอมแปร์.ชั่วโมง)

$$\begin{aligned}
 \text{พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว} &= (5 \text{ โวลต์}) \times (0.1946 \text{ แอมแปร์.ชั่วโมง}) \\
 &= (3.30\text{-}0 \text{ กรัมต่อลิตร}) \times (1 \text{ ลิตร}/1000 \text{ มิลลิลิตร}) \times 50 \text{ มิลลิลิตร} \\
 &= 5.8969 \text{ กิโลวัตต์.ชั่วโมงต่อกิโลกรัม}
 \end{aligned}$$

4. อัตราการผลิต (Productivity)

$$P = (p - p_0)/(t_0 - t)$$

เมื่อ P คือ อัตราการผลิต

p คือ ปริมาณผลผลิตที่เวลานั้น

p_0 คือ ปริมาณผลผลิตที่เวลาเริ่มต้น

t คือ เวลานั้นๆ

t_0 คือ เวลาเริ่มต้น

ตัวอย่างการคำนวณ

จากข้อมูลในภาคผนวก จ ตารางที่ จ.27 นำมาคำนวณค่าอัตราการผลิต ซึ่งที่เวลา 0 ชั่วโมง ความเข้มข้นของกรรมะนาวเท่ากับ 0 กรัมต่อลิตร ส่วนที่เวลา 18 ชั่วโมง ความเข้มข้นของกรรมะนาวเท่ากับ 7.51 กรัมต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{อัตราการผลิต} &= \frac{(7.51-0) \text{ กรัมต่อลิตร}}{(18-0) \text{ ชั่วโมง}} \\ &= 0.417 \text{ กรัมต่อลิตรต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ
ข้อมูลในการทดลอง

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมะนาวในช่องของกรดมะนาวที่แยกได้เป็น 0 กรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของน้ำหมักโซเดียมซิเตรทคงที่ 80 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซิเตรท

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	26.95	7.70	0.020	0.00	0.000
15	116.95	33.41	0.054	1.18	1.869
30	110.40	31.54	0.071	1.72	0.862
45	104.40	29.83	0.098	2.02	0.481
60	101.80	29.09	0.104	2.54	0.818
75	97.30	27.80	0.142	2.73	0.305
90	95.65	27.33	0.160	3.00	0.433
105	93.20	26.63	0.194	3.25	0.388
120	90.20	25.77	0.225	3.30	0.077

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.2 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมะนาวในช่องของกรดมะนาวที่แยกได้เป็น 40 กรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของน้ำหมักโซเดียมซิเตรทคงที่ 80 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซิเตรท

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	129.65	37.04	0.020	39.78	0.000
15	106.80	30.51	0.059	40.82	1.650
30	98.30	28.09	0.082	41.39	0.908
45	96.05	27.44	0.108	41.69	0.483
60	94.80	27.09	0.125	42.03	0.530
75	93.15	26.61	0.160	42.27	0.387
90	92.75	26.50	0.184	42.67	0.637
105	91.70	26.20	0.214	42.85	0.289
120	90.60	25.89	0.230	43.34	0.774

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.3 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมะนาวในช่องของกรดมะนาวที่แยกได้เป็น 80 กรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของน้ำหมักโซเดียมซัลเฟตที่ 80 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซัลเฟต

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (มอลลิ)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเตรท x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	131.40	37.54	0.021	79.13	0.000
15	104.25	29.79	0.065	79.96	1.315
30	98.15	28.04	0.084	80.50	0.863
45	96.90	27.69	0.130	80.98	0.754
60	93.85	26.81	0.144	81.18	0.313
75	91.70	26.20	0.172	81.53	0.557
90	88.50	25.29	0.201	81.95	0.666
105	87.30	24.94	0.222	82.35	0.639
120	86.80	24.80	0.238	82.62	0.435

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.4 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมะนาวในช่องของกรดมะนาวที่แยกได้เป็น 120 กรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของน้ำหมักโซเดียมซิเตรทคงที่ 80 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซิเตรท

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	137.30	39.23	0.020	119.68	0.000
15	100.20	28.63	0.060	120.23	0.875
30	95.60	27.31	0.082	120.77	0.869
45	91.00	26.00	0.112	120.91	0.210
60	88.00	25.14	0.129	121.39	0.765
75	86.50	24.71	0.157	121.56	0.267
90	85.20	24.34	0.189	121.76	0.322
105	83.20	23.77	0.210	122.29	0.843
120	83.00	23.71	0.234	122.57	0.449

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖.5 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดมะนาวในช่องของกรดมะนาวที่แยกได้เป็น 160 กรัมต่อลิตร โดยที่ความเข้มข้นของน้ำหมักโซเดียมซัลเฟตคงที่ 80 กรัมต่อลิตร เพื่อศึกษาผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซัลเฟต

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์อิเล็กท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	139.20	39.77	0.020	159.74	0.000
15	98.10	28.03	0.060	160.09	0.556
30	92.30	26.37	0.084	160.38	0.452
45	88.00	25.14	0.104	160.76	0.602
60	85.10	24.31	0.128	160.89	0.207
75	83.90	23.97	0.150	161.07	0.288
90	83.20	23.77	0.180	161.22	0.240
105	82.80	23.66	0.200	161.40	0.285
120	81.60	23.31	0.230	161.57	0.268

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.6 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและน้ำหมัก
 โซเดียมซิเตรท ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและ โซเดียมซิเตรท
 เป็น 5 และ 10 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดอะมิโน (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	134.66	38.47	0.020	5.37	0.000
15	127.13	36.32	0.050	5.63	0.405
30	97.81	27.95	0.070	5.85	0.359
45	84.68	24.19	0.108	6.12	0.428
60	76.58	21.88	0.115	6.32	0.305
75	67.41	19.26	0.155	6.52	0.321
90	56.99	16.28	0.180	6.66	0.222
105	49.32	14.09	0.203	6.88	0.348
120	47.03	13.44	0.217	7.07	0.298

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.7 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดมะนาวและน้ำหมัก
 โซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดมะนาวและโซเดียมซัลเฟต
 เป็น 15 และ 30 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จีเครท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	121.05	34.59	0.020	15.05	0.000
15	105.60	30.17	0.052	15.68	1.003
30	98.80	28.23	0.083	16.17	0.789
45	92.90	26.54	0.110	16.42	0.395
60	89.80	25.66	0.131	16.73	0.483
75	86.10	24.60	0.159	17.14	0.650
90	85.70	24.49	0.186	17.40	0.417
105	83.40	23.83	0.204	17.72	0.511
120	81.60	23.31	0.222	17.93	0.334

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.8 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและน้ำหมัก
 โซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและโซเดียมซัลเฟต
 เป็น 25 และ 50 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดอะมิโน (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์อิเล็กตรอน $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	126.58	36.16	0.020	24.66	0.000
15	112.30	32.09	0.056	25.57	1.445
30	100.35	28.67	0.083	26.13	0.877
45	93.05	26.59	0.109	26.56	0.691
60	88.53	25.29	0.128	26.71	0.234
75	85.80	24.51	0.160	27.24	0.846
90	84.98	24.28	0.185	27.35	0.170
105	83.18	23.76	0.207	27.48	0.207
120	81.58	23.31	0.228	27.57	0.139

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.9 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและน้ำหมัก
 โซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดอะมิโนและโซเดียมซัลเฟต
 เป็น 40 และ 80 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดอะมิโน (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จลิต $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	129.65	37.04	0.020	39.78	0.000
15	106.80	30.51	0.059	40.82	1.650
30	98.30	28.09	0.082	41.39	0.908
45	96.05	27.44	0.108	41.69	0.483
60	94.80	27.09	0.125	42.03	0.530
75	93.15	26.61	0.160	42.27	0.387
90	92.75	26.50	0.184	42.67	0.637
105	91.70	26.20	0.214	42.85	0.289
120	90.60	25.89	0.230	43.34	0.774

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.10 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดมะนาวและน้ำหมัก
โซเดียมซิเตรท ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารป้อนด้านกรดมะนาวและโซเดียมซิเตรท
เป็น 50 และ 100 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	132.40	37.83	0.020	49.24	0.000
15	111.50	31.86	0.060	50.37	1.798
30	101.80	29.09	0.088	50.98	0.967
45	99.40	28.40	0.114	51.39	0.660
60	98.40	28.11	0.130	51.69	0.468
75	95.70	27.34	0.168	51.81	0.201
90	95.10	27.17	0.200	52.17	0.558
105	91.40	26.11	0.220	52.50	0.529
120	90.20	25.77	0.238	52.81	0.492

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.11 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าความเป็นกรดค่าที่ 2.5 ของน้ำหมักโฆเดียมซีเตรท 80 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โฆเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเตรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	108.65	31.04	0.020	39.90	0.000
15	78.15	22.33	0.029	40.82	1.462
30	72.60	20.74	0.034	41.48	1.048
45	69.10	19.74	0.036	41.99	0.804
60	67.95	19.41	0.039	42.18	0.308
75	67.00	19.14	0.040	42.38	0.325
90	66.35	18.96	0.041	42.62	0.373
105	65.80	18.80	0.041	42.74	0.189
120	65.40	18.69	0.041	43.08	0.536

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.12 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าความเป็นกรดค่าที่ 3 ของน้ำหมักโซเดียมซิเตรท 80 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	121.50	34.71	0.021	40.01	0.000
15	96.05	27.44	0.044	40.84	1.319
30	90.10	25.74	0.062	41.53	1.101
45	86.20	24.63	0.076	42.21	1.070
60	83.25	23.79	0.088	42.27	0.098
75	80.90	23.11	0.102	42.41	0.220
90	79.75	22.79	0.108	42.64	0.370
105	78.05	22.30	0.118	42.72	0.123
120	77.20	22.06	0.128	42.87	0.246

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.13 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าความเป็นกรดค่าที่ 5 ของน้ำหมักโซเดียมซิเตรท 80 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาทึ)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	134.55	38.44	0.020	39.95	0.000
15	107.05	30.59	0.052	41.21	1.988
30	94.50	27.00	0.086	41.85	1.025
45	91.15	26.04	0.114	42.18	0.518
60	87.90	25.11	0.142	42.48	0.479
75	87.05	24.87	0.164	42.81	0.523
90	86.75	24.79	0.190	43.20	0.616
105	85.10	24.31	0.210	43.54	0.547
120	83.05	23.73	0.234	43.63	0.135

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.14 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าความเป็นกรดค่าที่ 7 ของน้ำหมักโซเดียมซิเตรท 80 กรัมต่อลิตร

เวลา (นาทึ)	กระแสไฟฟ้้า (มิลลิแอมแปร์)	ควาหนาแน่น กระแสไฟฟ้้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ควาเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ควาเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซิเตรท x 10 ⁻⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	139.65	39.90	0.021	39.98	0.000
15	122.85	35.10	0.057	41.36	2.189
30	109.10	31.17	0.087	42.21	1.353
45	98.95	28.27	0.114	42.55	0.538
60	95.95	27.41	0.141	42.84	0.452
75	92.55	26.44	0.172	43.05	0.334
90	91.70	26.20	0.204	43.32	0.428
105	90.75	25.93	0.235	43.62	0.473
120	89.55	25.59	0.250	43.89	0.433

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิททยาลัย

ตารางที่ จ.15 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอัตราการใช้ของสารป้อนเป็น 160 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเทรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	127.20	36.34	0.020	40.00	0.000
15	91.15	26.04	0.041	40.59	0.927
30	86.65	24.76	0.069	40.86	0.431
45	82.20	23.49	0.095	41.28	0.665
60	78.55	22.44	0.110	41.70	0.672
75	77.65	22.19	0.147	42.01	0.488
90	77.15	22.04	0.173	42.36	0.550
105	75.45	21.56	0.196	42.61	0.410
120	74.90	21.40	0.206	42.84	0.366

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.16 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอัตราการใช้ของสารป้อนเป็น 240 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์อิเล็กตรอน $\times 10^4$ (อิเล็กตรอน/ตารางเมตร.วินาที)
0	130.20	37.20	0.020	39.96	0.000
15	98.90	28.26	0.048	40.81	1.339
30	87.50	25.00	0.076	41.58	1.226
45	84.10	24.03	0.098	42.06	0.758
60	83.00	23.71	0.120	42.26	0.317
75	82.50	23.57	0.152	42.70	0.706
90	81.30	23.23	0.184	42.91	0.329
105	78.70	22.49	0.200	42.98	0.115
120	78.50	22.43	0.220	43.11	0.202

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.17 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอัตราการใช้ของสารป้อนเป็น 360 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จีเดรท x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	130.30	37.23	0.018	40.13	0.000
15	99.10	28.31	0.058	41.05	1.472
30	90.50	25.86	0.076	41.64	0.925
45	86.85	24.81	0.102	41.84	0.330
60	85.75	24.50	0.132	42.19	0.552
75	84.40	24.11	0.154	42.52	0.528
90	82.95	23.70	0.175	42.71	0.302
105	82.20	23.49	0.211	42.97	0.402
120	80.55	23.01	0.229	43.24	0.439

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.18 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอัตราการใช้ของสารป้อนเป็น 680 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จีเครท x 10 ⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	133.00	38.00	0.020	40.14	0.000
15	104.35	29.81	0.056	41.22	1.717
30	94.70	27.06	0.084	41.69	0.744
45	89.65	25.61	0.110	41.99	0.484
60	87.35	24.96	0.139	42.18	0.295
75	86.05	24.59	0.162	42.40	0.349
90	85.75	24.50	0.192	42.67	0.429
105	84.40	24.11	0.215	43.02	0.551
120	84.40	24.11	0.233	43.26	0.377

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.19 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของสารป้อนเป็น 980 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเทรท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	130.30	37.23	0.020	40.07	0.000
15	102.45	29.27	0.057	41.06	1.579
30	92.40	26.40	0.080	41.46	0.629
45	89.65	25.61	0.112	41.75	0.451
60	86.80	24.80	0.134	42.05	0.477
75	85.05	24.30	0.157	42.35	0.478
90	84.55	24.16	0.180	42.49	0.225
105	84.05	24.01	0.222	42.72	0.361
120	83.60	23.89	0.239	43.14	0.670

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.20 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 4 โวลต์

เวลา (นาทื)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จิวเทรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	87.85	25.10	0.021	39.26	0.000
15	68.40	19.54	0.046	39.42	0.252
30	66.00	18.86	0.059	39.53	0.176
45	63.80	18.23	0.079	39.67	0.226
60	62.80	17.94	0.102	39.82	0.239
75	61.40	17.54	0.118	39.97	0.229
90	60.95	17.41	0.130	40.10	0.214
105	59.95	17.13	0.140	40.24	0.223
120	59.30	16.94	0.163	40.33	0.144

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.21 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 5 โวลต์

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเทรท x 10 ⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	129.65	37.04	0.020	39.78	0.000
15	106.80	30.51	0.059	40.82	1.650
30	98.30	28.09	0.082	41.39	0.908
45	96.05	27.44	0.108	41.69	0.483
60	94.80	27.09	0.125	42.03	0.530
75	93.15	26.61	0.160	42.27	0.387
90	92.75	26.50	0.184	42.67	0.637
105	91.70	26.20	0.214	42.85	0.289
120	90.60	25.89	0.230	43.34	0.774

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.22 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 6 โวลต์

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จิวเทรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	188.95	53.99	0.020	39.72	0.000
15	137.10	39.17	0.063	40.73	1.599
30	127.85	36.53	0.098	41.57	1.331
45	126.50	36.14	0.134	42.02	0.718
60	124.05	35.44	0.168	42.65	0.989
75	123.05	35.16	0.202	42.99	0.547
90	122.30	34.94	0.235	43.63	1.019
105	121.80	34.80	0.280	44.19	0.887
120	121.70	34.77	0.318	44.54	0.554

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.23 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 7 โวลต์

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเตรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	222.60	63.60	0.020	38.73	0.000
15	164.50	47.00	0.056	39.89	1.846
30	162.70	46.49	0.116	40.93	1.649
45	162.50	46.43	0.164	41.79	1.366
60	162.50	46.43	0.202	42.66	1.376
75	160.70	45.91	0.250	43.51	1.347
90	158.10	45.17	0.304	44.41	1.440
105	158.00	45.14	0.340	45.23	1.297
120	157.00	44.86	0.388	45.97	1.172

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.24 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองแปรอุณหภูมิของระบบที่ 25 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จิวเทรท x 10 ⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	131.10	37.46	0.020	40.01	0.000
15	98.00	28.00	0.049	40.77	1.201
30	95.10	27.17	0.081	41.37	0.966
45	93.80	26.80	0.105	41.90	0.839
60	85.50	24.43	0.135	42.01	0.166
75	84.10	24.03	0.159	42.29	0.449
90	83.30	23.80	0.175	42.64	0.554
105	79.30	22.66	0.215	42.81	0.276
120	78.80	22.51	0.223	42.90	0.140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.25 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองประจุหนุมิของระบบที่ 30 องศาเซลเซียส

เวลา (นาที)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์ซีเตรท x 10 ⁴ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	130.30	37.23	0.018	40.13	0.000
15	99.10	28.31	0.058	41.05	1.472
30	90.50	25.86	0.076	41.64	0.925
45	86.85	24.81	0.102	41.84	0.330
60	85.75	24.50	0.132	42.19	0.552
75	84.40	24.11	0.154	42.52	0.528
90	82.95	23.70	0.175	42.71	0.302
105	82.20	23.49	0.211	42.97	0.402
120	80.55	23.01	0.229	43.09	0.201

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.26 ข้อมูลค่าเฉลี่ยจากการทดลองปรุอุณหภูมิของระบบที่ 40 องศาเซลเซียส

เวลา (นาท)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมแปร์)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเมตร)	ความเข้มข้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)	ความเข้มข้น กรดมะนาว (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์จลิตร $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)
0	153.95	43.99	0.020	40.05	0.000
15	133.30	38.09	0.066	41.37	2.095
30	128.05	36.59	0.100	42.45	1.718
45	123.90	35.40	0.140	42.83	0.606
60	120.60	34.46	0.185	43.21	0.606
75	118.40	33.83	0.199	43.74	0.839
90	119.80	34.23	0.235	44.05	0.491
105	118.45	33.84	0.262	44.26	0.342
120	116.60	33.31	0.294	44.47	0.325

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.27 ผลของความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นในช่องของกรดมะนาวและโซเดียมซิเตรทที่มีต่อฟลักซ์ซิเตรท ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว และพลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว

อัตราส่วนความเข้มข้นเริ่มต้นของ สารละลายในช่องกรดซิเตรทต่อโซเดียมซิเตรท	ฟลักซ์ซิเตรท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว $\times 10^{-3}$ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยก กรดมะนาว (กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม)
0/80	0.6540	1.929	5.8969
40/80	0.7071	2.501	5.5020
80/80	0.6929	1.343	5.5128
120/80	0.5749	0.842	6.4013
160/80	0.3623	0.724	9.8852

ตารางที่ จ.28 ผลของความเข้มข้นสารป้อนด้านกรดอะมิโนและน้ำหมักโซเดียมซัลเฟต ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 ที่มีต่อฟลักซ์เซตพรท ประสิทธิภาพการแยกกรดอะมิโน และพลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน

ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำหมัก โซเดียมซัลเฟต (กรัม/ลิตร)	ฟลักซ์เซตพรท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกกรดอะมิโน $\times 10^{-3}$ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน (กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม)
10	0.3356	0.540	9.6193
30	0.5729	0.943	6.4381
50	0.5761	1.394	6.4790
80	0.7071	2.501	5.4969
100	0.7091	2.209	5.6300

ตารางที่ จ.29 ผลของค่าความเป็นกรดต่างของน้ำหมักโชนิยมซีเตรทที่มีต่อฟลักซ์ซีเตรท ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว และพลังงานไฟฟ้า
จำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว

ค่าความเป็นกรดต่าง	ฟลักซ์เฉลี่ย x 10 ⁻⁵ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว x 10 ⁻³ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าจำเพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว (กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม)
2.5	0.6304	3.318	4.5125
3	0.5683	2.417	5.062
5	0.7289	2.498	5.0931
7	0.7749	1.939	5.2258

ตารางที่ จ.30 ผลของอัตราการใช้ของสารละลายที่มีต่อประสิทธิภาพการแยกครดมะนาว และพลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกครดมะนาว

อัตราการใช้ (มิลลิกรัม/ชั่วโมง)	ฟลักซ์เชิงเดรท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกครดซีตริก $\times 10^{-3}$ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกครดมะนาว (กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม)
160	0.5636	1.120	5.8972
240	0.6239	2.173	5.5656
360	0.6189	2.165	5.7652
680	0.6184	2.211	5.9422
980	0.6087	2.015	5.9609

ตารางที่ จ.31 ผลของศักย์ไฟฟ้าต่อฟลักซ์เชิงเดรท ประสิทธิภาพการแยกกรดอะมิโน และพลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน

ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ฟลักซ์เชิงเดรท $\times 10^{-5}$ (กิโกลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกกรดอะมิโน $\times 10^{-3}$ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกกรดอะมิโน (กิโวลต์.ชั่วโมง/กิโกลกรัม)
4	0.2127	0.267	9.6598
5	0.7071	2.501	5.4874
6	0.9555	1.986	6.4665
7	1.4366	2.056	6.3751

ตารางที่ จ.32 ผลของอุณหภูมิของระบบต่อฟลักซ์เดรท ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว และพลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว

อุณหภูมิของระบบ (องศาเซลเซียส)	ฟลักซ์เดรท $\times 10^{-5}$ (กิโลกรัม/ตารางเมตร.วินาที)	ประสิทธิภาพการแยกกรดมะนาว $\times 10^{-3}$ (กรัม/แอมแปร์.วินาที)	พลังงานไฟฟ้าเฉพาะที่ใช้ในการแยกกรดมะนาว (กิโลวัตต์.ชั่วโมง/กิโลกรัม)
25	0.5737	1.715	5.8965
30	0.5892	2.367	5.6381
40	0.8779	3.769	5.6368

ตารางที่ จ.33 ข้อมูลจากการทดลองแยกกรดอะมิโนออกจากน้ำหมักด้วยอิเล็กโทรไลต์และลิกนินในปริมาณที่ต่างกันในระดับที่ต่างกัน 5 ลิตร ซึ่งข้อมูลในตารางนี้เป็นข้อมูลในส่วนของอิเล็กโทรไลต์

ชั่วโมง	ความเข้มข้นกรดอะมิโน (กรัมต่อลิตร)		ความเข้มข้นโซเดียมซัลเฟต (กรัมต่อลิตร)		กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ต่อตารางเมตร)	ฟลักซ์อิเล็กตรอน $\times 10^{-4}$ (กรัมต่อตารางเมตร.วินาที)
	ก่อนปรับความเข้มข้น	หลังปรับความเข้มข้น	ก่อนปรับความเข้มข้น	หลังปรับความเข้มข้น			
78	39.23	-	68.04	-	180.70	51.63	0.0000
84	48.34	41.94	59.35	71.52	113.40	32.40	0.6025
90	47.69	39.62	64.58	73.21	90.80	25.94	0.3803
96	44.86	41.85	67.37	72.74	84.70	24.20	0.3466
102	44.22	38.48	67.13	73.58	25.03	23.29	0.1567
108	43.14	40.87	68.93	72.65	76.80	21.94	0.3082
120	43.46	-	68.70	-	70.20	20.06	0.1713

ตารางที่ จ.34 ข้อมูลจากการทดลองแยกกรรมนาวออกจากน้ำหมักด้วยอิเล็กโทรไลต์สคววบคู่กับการหมักในระดับถึงหมักขนาด 5 ลิตร ซึ่งข้อมูลในตารางนี้เป็นข้อมูลในส่วนองถึงหมักขนาด 5 ลิตร

เวลา(ชั่วโมง)	กรรมนาว (กรัม/ลิตร)	productivity (กรัม/ลิตร/ชั่วโมง)	กลูโคสที่เหลือ (กรัม/ลิตร)
0	0.00	0.00	223.98
6	0.00	0.00	218.42
12	0.00	0.00	217.85
18	7.51	0.42	204.51
24	14.68	0.61	194.77
30	20.99	0.70	152.10
36	27.24	0.76	144.64
42	32.84	0.78	129.84
48	38.85	0.81	112.97
54	43.49	0.81	96.46
60	50.17	0.84	91.75
66	57.94	0.88	82.41
72	62.52	0.87	118.64
78	68.04	0.87	110.32
84	71.06	0.85	103.45
90	73.62	0.82	99.71
96	74.87	0.78	91.23
102	76.78	0.75	108.33
108	75.12	0.70	100.87
114	77.01	0.68	97.45
120	76.90	0.64	93.72

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเรณิรินทร์ สุขสุขะโน เกิดวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย