

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กิติพงษ์ รัตนภรณ์. การแยกโปรตีนออกจากผนังในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.
- จันทน์ จงนิตยกาล และ ชัชวาล จินเลิศ. รายงานสภาวะอุตสาหกรรมเบียร์. ฝ่ายนโยบาย 4. กองเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สำนักปลัดกระทรวงอุตสาหกรรม, 2529.
- จันทพร ปุณณรัตน์กุล. การแยกเซลล์ *Alcaligenes eutrophus* ATCC 17697 ที่มีพอลิ-ปีตา-ไฮดรอกซีบิวทีเรตจากน้ำหมักโดยเครื่องกรองระดับอนุภาครูปทรงกระบอกชนิดหมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- ธนบ นภีรงค์. การผลิตยีสต์สกัดจากยีสต์ขนมปังโดยใช้เอนไซม์ปาเปน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.
- ปราณี กิตติอนงค์. การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันในกระบวนการกำจัดความขมออกจากสเปนท์เบียร์เวอริยีสต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- วิวัฒน์ หวังเจริญ. การผลิตยีสต์ออกโตไลสเพื่อใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นรสเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
- วุฒิพงศ์ บุญนายวา. การกรองแบบไมโครฟิลเตรชันโดยใช้เยื่อแผ่นเซรามิกชนิดหมุนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
- สุพจน์ ไข่เทียมวงศ์. จุลชีววิทยา. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2529:366-369.
- สุพจน์ บุญแรง. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายยีสต์ขนมปังและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาษาอังกฤษ

- Adler, N.A. Determination of Degree of Hydrolysis of Food Protein Hydrolysate by Trinitrobenzenesulfonic Acid. J. of Agric. Food Chem. 27. No. 6. (1979) : 1256-1262.
- Bailey, S.M. and Meagher, M.M. Crossflow Microfiltration of Recombinant *Escherichia coli* Lysates after High Pressure Homogenization. Biotechnol. Bioeng. 56. No. 3 (1997) : 304-310.
- Bird, R.B. Advances in chemical engineering, vol 1. Academic, New York, 1956, pp. 156-239.
- Bowen, W.R. and Gan, Q., Properties of Microfiltration Membranes: The Effects of Adsorption and Shear on the Recovery of an Enzyme. Biotechnol. Bioeng. 40 (1992) : 491-497.
- Bowen, W.R. and Gan, Q., Properties of Microfiltration Membrane : Flux Loss During Constant Pressure Permeation of Bovine Serum Albumin. Biotechnol. Bioeng. 38 (1991) : 688-696.
- Bowen, W.R. and Hughes, D.T., Properties of Microfiltration Membranes .Part 2 : Adsorption of Bovine Serum Albumin at Aluminium Oxide Membranes. J. Mem. Sci. 51 (1990) : 189-200.
- Breddam, M. and Beenfeldt, T. Acceleration of yeast autolysis by chemical methods for production of intracellular enzymes. Appl. Microbiol. Biotech. 35 (1991) : 323-329.
- Canbas, A., Erten, H. and Ozsahin, F. The effects of temperature on the chemical composition of hop pellets. Process Biochem. 36 (2001) : 1053-1058.
- Charles, S., Parnham III and Robert, H.D. Protein Recovery from Cell Debris Using Rotary and Tangential Cross-Flow Microfiltration. Biotechnol. Bioeng. 47 (1995) : 155-164.
- European Brewery Convention, Analytica-EBC, 4<sup>th</sup> edition, 1987.
- Hill, F.F. 1981. Process for the Production of a Yeast Autolysate. U.S. Patent 4,264,628.
- Hunter, J.B. and Asenjo, J.A. Kinetics of Enzymatic Lysis and Disruption of Yeast Cells II. A Simple Model of Lysis Kinetics. Biotech. and Bioeng. 30 (1987): 481-490.
- Hunter, J.B. and Asenjo, J.A. A Structured Mechanistic Model of the Kinetics of Enzymatic Lysis and Disruption of Yeast Cells. Biotech. and Bioeng. 31 (1988): 929-943.

- Kroner, K.H. and Nissinem, V. Dynamic Filtration of Microbial Suspensions using an Auxiliary Rotating Filter. J.Mem.Sci. 36 (1988) : 82-100.
- Lowry, O.H., Rosebrough, N.J., Farr, A.L. and Randal, R.J. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. J.Biol.Chem. 193 (1951):265-275.
- Marffy, F., Kula, M.R. ,Enzyme Yields from Cells of Brewer's Yeast Disrupted by Treatment in a Horizontal Disintegrator. Biotechnol.Bioeng. 16 (1974) : 623-634.
- Moresi, M., E. Orban, G.B. Quaglia and I. Casini. Effect of Some Physico-Chemical Treatments on the Kinetics of Autolysed-Yeast Extract Production From Whey . J.Sci. Food. Agric. 67 (1995) :347-357
- Murase, T., Iritani, E., Chidphong, P. Kano, K. Atsumi, K. and Shirato, M. High Speed Microfiltration Using a Rotating Cylindrical Ceramic Membrane. International Chemical Engineering. 31 (1991) : 370-378..
- Nagodawithana, T.W. 1995. Yeast extracts. In : Savory Flavor., Esteekey Associates, Inc. USA, .239-251.
- Niemthanorn, A., Production of Yeast Extract from Spent Brewer's Yeast . M.Sc. Thesis, Mahidol University, 1997
- Orban, E.G., B. Quaglia and I. Casini. Effect of temperature and yeast concentration on the autolysis of *Kluyveromyces fragilis* grown on lactose-based media. J. of food Eng. 21(1994) : 245-261.
- Parnham, C.S. and Davis, R.H. Protein recovery from cell debris using rotary and tangential cross-flow microfiltration. Biotechnol Bioeng. 47 No.2. (1995) :155-164.
- Patricia, L.P. et al. The effects of osmotic pressure and ethanol on yeast viability and morphology. Journal of the institute of brewing. 109 No.3.(2003) :218-228.
- Reed, G. and Nagodawithana, T.W. Yeast Derived Products. In : Yeast Technology 2<sup>nd</sup>. edition. Van Nostrand Reinhold, 1991 : 369-412.
- Roman et al. Induction and Acceleration of Yeast Lysis by Addition of Fresh Yeast Autolysate. Biotech.Letters. 13 (1991) : 543-546.
- Suphantharika, M. and Varavinit, S. ,Removal of Bitter Substances from Spent Brewer's Yeast Extract by Solvent Extraction. ASEAN Journal of Science and Technology for Development . 16 No.2 (1999) : 11-17.

Tatyana et.al. Induced Autolysis of *Saccharomyces cerevisiae* : Morphological Effects, Rheological Effects, and Dynamics of Accumulation of Extracellular Hydrolysis Products. Current Microbiology. 5 (1981): 163-168.

Tanaka, T., Kamimura, R., Itoh, K. and Nakanishi, K. , Factors Affecting the Performance of Crossflow Filtration of Yeast Cell Suspension. Biotechnol. Bioeng. 41(1993) : 617-624.

Van Hamet, P.A. and Tiesjema, R.H. Safety Aspects of Closed-System Filtration and Ultrafiltration in Vaccine Production. Swiss Biotech . 5 (1987) : 13-18.



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



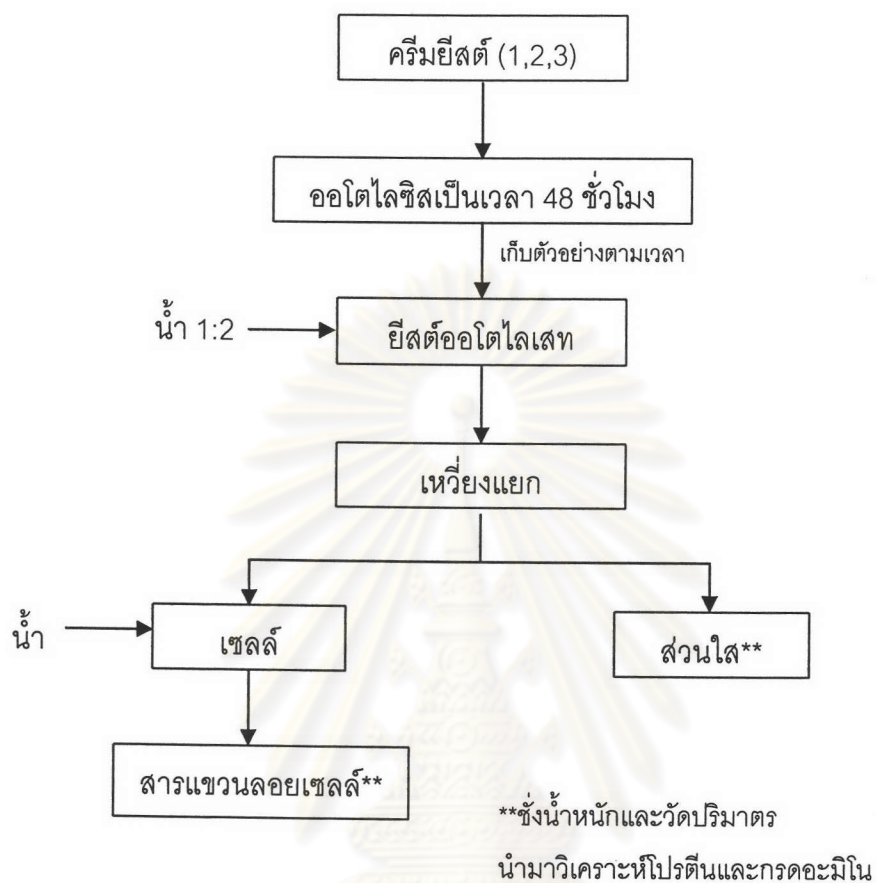
ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ก. ผลการเติมน้ำลงในยีสต์ออโตไลเซทก่อนการเหวี่ยงแยก

นำครีมยีสต์ที่เข้มข้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักแห้ง ครีมยีสต์ที่เข้มข้นที่เติมเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มาปรับภาวะให้มีความเป็นกรดต่าง เท่ากับ 5.5 บมในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างยีสต์ออโตไลเซทตามเวลาแล้ว เติมน้ำใส่ในตัวอย่างในอัตราส่วนของน้ำต่อตัวอย่าง 1 ต่อ 2 เพื่อให้มีปริมาณน้ำรอบนอกเซลล์สูง เขย่าให้เข้ากัน นำไปเหวี่ยงแยกเซลล์ด้วยความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที (  $1700 \times g$  ) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในแผนภาพการทดลองรูปที่ ก 1 เมื่อวัดน้ำหนักและปริมาตรของส่วนใสและเซลล์ที่แยกได้ นำไปวิเคราะห์หาโปรตีนและกรดอะมิโนที่เหลืออยู่ในเซลล์กับส่วนที่ออกมานอกเซลล์ พบว่าการเติมน้ำลงในยีสต์ออโตไลเซทก่อนการเหวี่ยงแยก ทำให้มีความแตกต่างของความเข้มข้นระหว่างภายในและนอกเซลล์มากขึ้น ซึ่งความแตกต่างนี้เป็นแรงขับให้สารภายในเซลล์ออกมาได้มากกว่าการเหวี่ยงแยกโดยไม่เติมน้ำ ส่งผลให้ได้ปริมาณโปรตีน และกรดอะมิโนออกมานอกเซลล์มากกว่าการไม่เติมน้ำ ดังแสดงในรูปที่ ก 2 และ ก 3 อีกทั้งการใช้เครื่องเหวี่ยงแยก ยังเป็นสาเหตุให้มีการบังคับให้เกิดการแพร่ หรือที่เรียกว่า Forced Diffusion (Bird, 1956) ซึ่งทำให้สารภายในเซลล์ไหลออกมาสู่นอกเซลล์ได้มากขึ้น จากสาเหตุสองประการนี้จึงทำให้การไหลของโปรตีนและกรดอะมิโนจากภายในเซลล์สู่นอกเซลล์ยังคงเพิ่มขึ้นแม้ว่าความเข้มข้นของโปรตีนและกรดอะมิโนภายในเซลล์จะมีค่าน้อยกว่าในสารละลายนอกเซลล์ก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ ก 4 และ ก 5 ดังนั้นในขั้นตอนการแยกเศษเซลล์ด้วยเครื่องกรองแบบหมุนได้ ซึ่งจะมีแรงเหวี่ยงที่เกิดจากความเร็วในการหมุนเยื่อแผ่นในขณะกรอง และแรงเหวี่ยงนี้น้ำจะทำให้มีการบังคับให้เกิดการแพร่ของสารออกมานอกเซลล์ได้มากกว่าการกรองแยกแบบธรรมดา หรือการใช้เครื่องปั่นแยกที่สิ้นเปลืองพลังงานกว่าการกรอง และการเติมน้ำลงในยีสต์ออโตไลเซทเข้มข้นให้เจือจาง จะช่วยให้ดำเนินการกรองได้ง่ายขึ้น และมีผลได้ของยีสต์สกัดเพิ่มขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณน้ำมากไปก็จะมีปัญหาต่อการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์

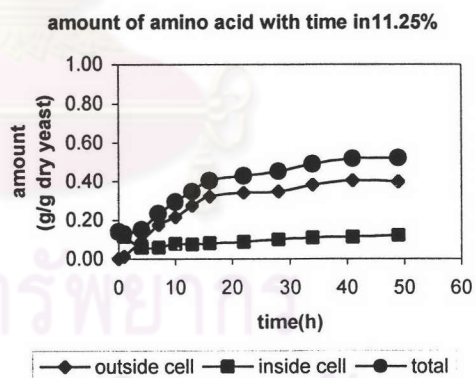
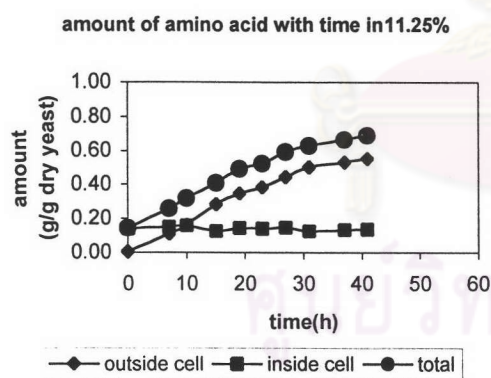
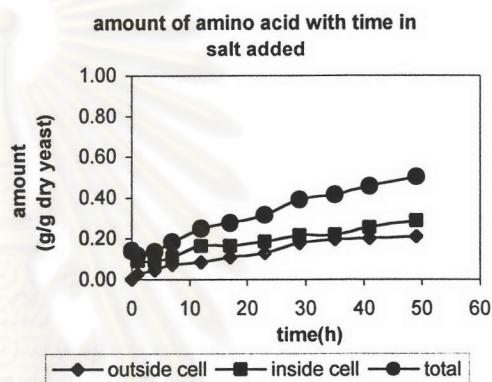
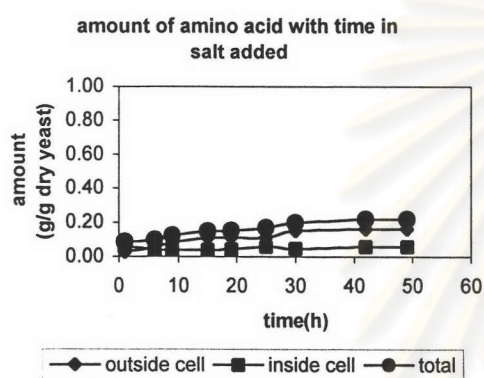
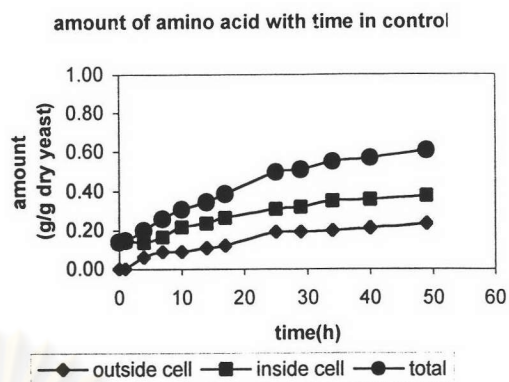
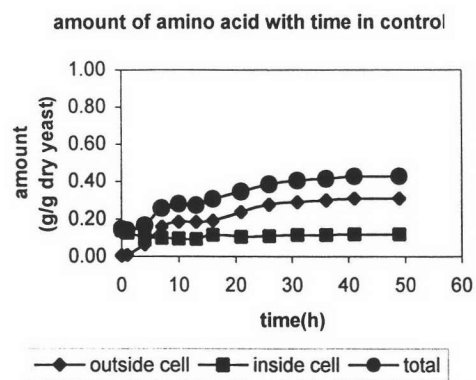
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก1 แผนภาพการทดลองการเติมน้ำก่อนเหวี่ยงแยก

- 1 คือ ครีมยีสต์เข้มข้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักแห้ง
- 2 คือ ครีมยีสต์เข้มข้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักแห้ง ที่มีการเติมเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก
- 3 คือ ครีมยีสต์เข้มข้นที่เติมน้ำให้เจือจางเป็นร้อยละ 11.25 โดยน้ำหนักแห้ง

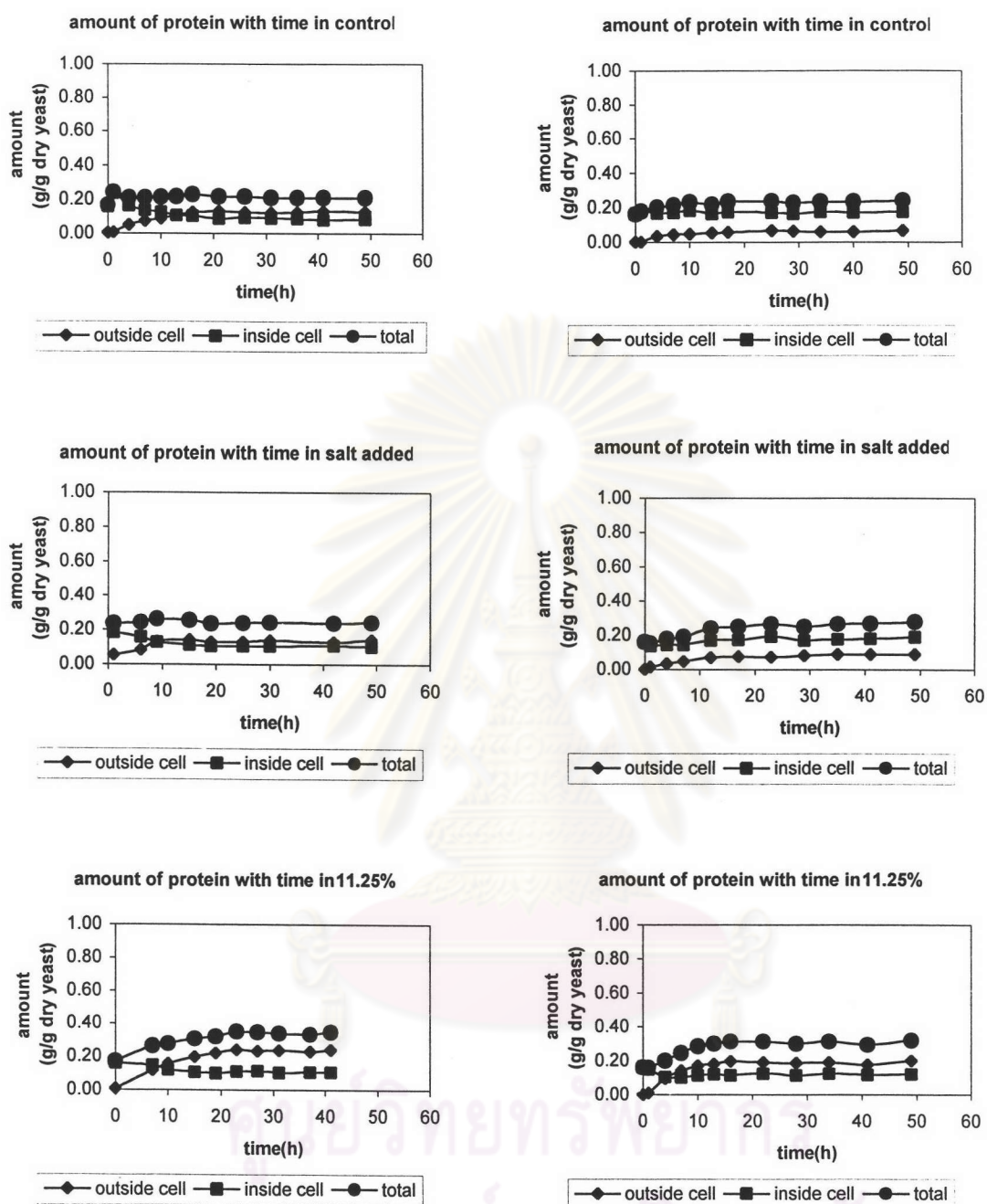




ก

ข

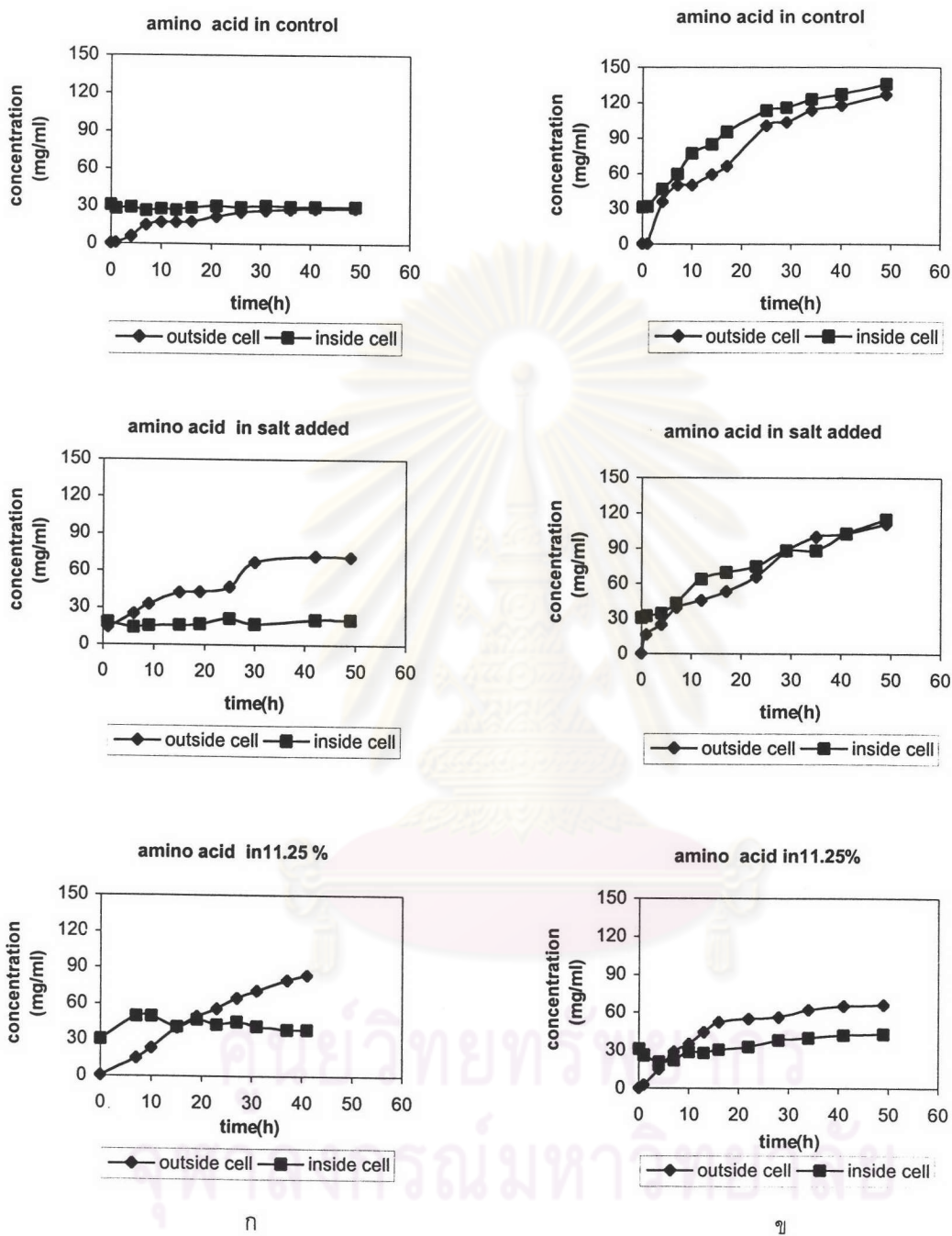
รูปที่ ก 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของกรดอะมิโน ตามเวลา โดย (ก) เป็นผลจากการเติมน้ำก่อนการเหวี่ยงแยก (ข) ไม่เติมน้ำ



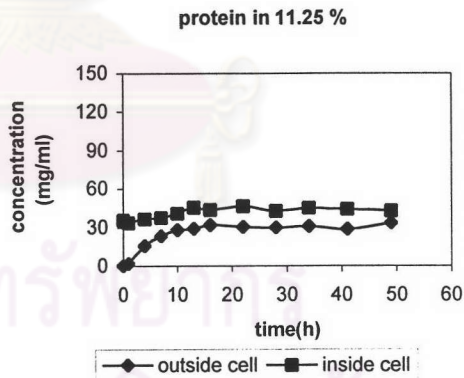
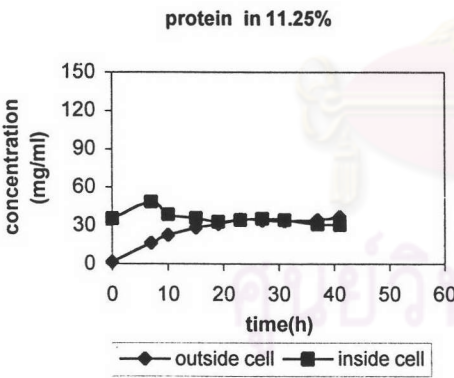
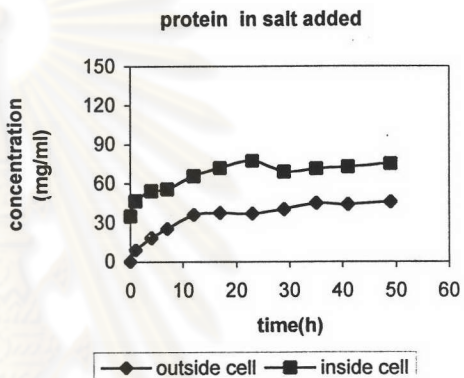
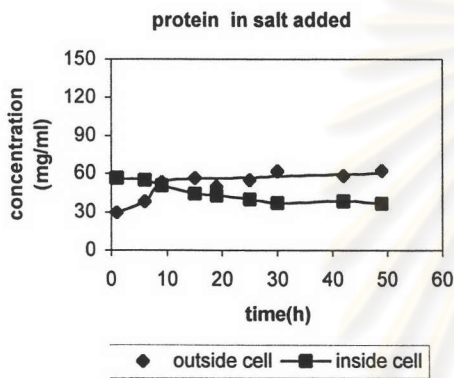
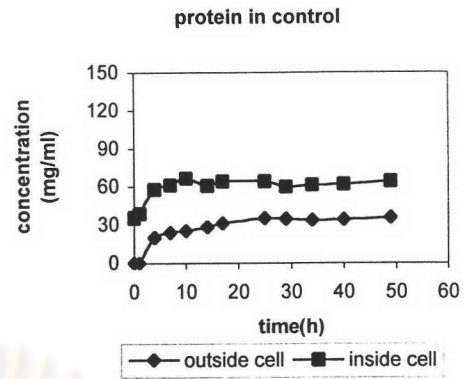
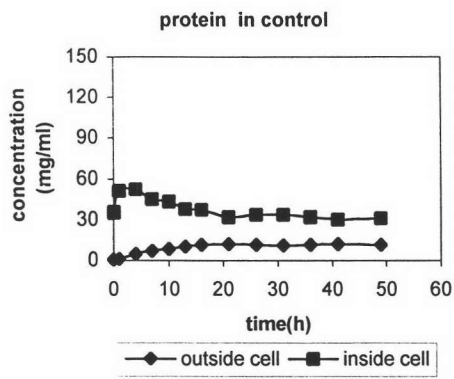
ก

ข

รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปรตีนตามเวลา โดย (ก) เป็นผลจากการเติมน้ำก่อนการเหวี่ยงแยก (ข) ไม่เติมน้ำ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอะมิโนตามเวลา โดย (ก) เป็นผลจากการเติมน้ำก่อนการเหวี่ยงแยก (ข) ไม่เติมน้ำ



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ก 5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของโปรตีนตามเวลา โดย (ก) เป็นผลจากการเติมน้ำก่อนการเหวี่ยงแยก (ข) ไม่เติมน้ำ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## การวิเคราะห์

### 1. การวิเคราะห์สมบัติของสเปกตรัมบรีวเวอริยีสต์ และ ยีสต์ออกโตไลเซท

#### 1.1 การวัดขนาดอนุภาคของเซลล์ยีสต์

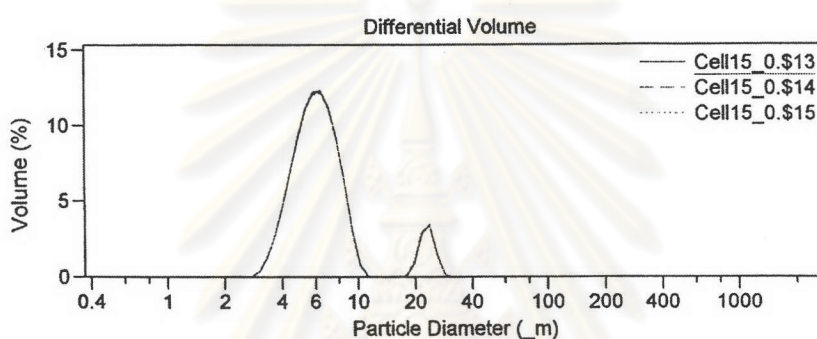
วัดขนาดของเซลล์ยีสต์โดยใช้เครื่องวัดอนุภาคด้วยเครื่องวัดอนุภาค ( Particle analyzer ) รุ่น Coulter LS 230

#### วิธีการใช้เครื่องวัดขนาดอนุภาค

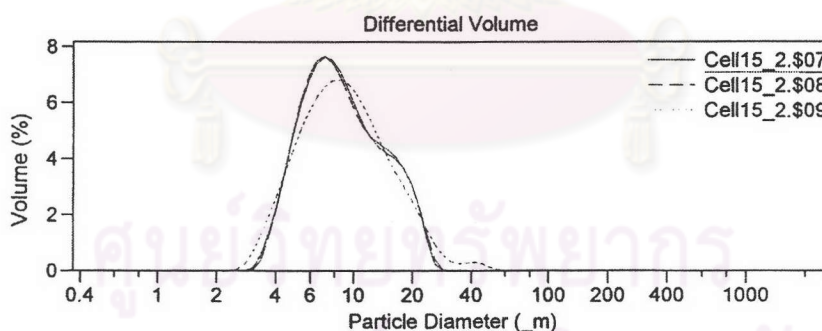
1. เปิดโปรแกรม Coulter ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องวัดขนาดอนุภาค
2. เปิดเครื่องวัดขนาดอนุภาคทิ้งไว้ 30 นาที
3. ล้างเซลล์สำหรับวัดอนุภาคด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนเต็มเซลล์ แล้วทำการไล่ฟองอากาศในเซลล์
4. กดเลือกคำสั่ง run cycle ในโปรแกรม coulter เพื่อทำการวัด offset และวัด background ของเซลล์ จนโปรแกรมแสดงข้อความให้ใส่สารตัวอย่าง
5. ทำการใส่สารตัวอย่างลงในเซลล์วัดขนาดอนุภาคจนกระทั่ง ค่า obscuration อยู่ในช่วง 8-12 %
6. ใส่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสารตัวอย่างที่ทำการวัดอนุภาค และเลือกชนิดของตัวทำละลายเป็นน้ำ
7. กดคำสั่ง Done เพื่อให้เครื่องทำการวัดขนาดอนุภาค
8. เครื่องวัดขนาดอนุภาคจะใช้สมการ Fraunhofer model ในการคำนวณขนาดของอนุภาค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวัดขนาดอนุภาคของสเปนท์บริวเวอร์ยีสต์ ยีสต์ออกโตไลเซท ด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค ( Particle analyzer ) รุ่น Coulter LS 230 ได้ผลดังรูปที่ ข 1 ขนาดของเซลล์เริ่มต้นมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.7 ไมโครเมตร และขนาดของเซลล์ในชั่วโมงที่ 24 มีค่าเท่ากับ 7 ไมโครเมตร จากผลการทดลองพบว่าขนาดของเซลล์ยีสต์เริ่มต้นและเซลล์ที่ย่อยสลายแล้วมีขนาดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจาก ในช่วงแรกของการย่อยสลายตัวเองเซลล์ยีสต์จะปล่อยของเหลวภายในเซลล์ออกมาร้อยละ 40 ของน้ำหนักเซลล์ และมีค่าคงที่ตลอดการย่อยสลายตัวเอง ซึ่งหมายถึงภาวะที่สมดุลของของเหลวภายในและนอกเซลล์ ดังนั้นขนาดของเซลล์ที่วัดได้จึงมีค่าใกล้เคียงกัน



ก

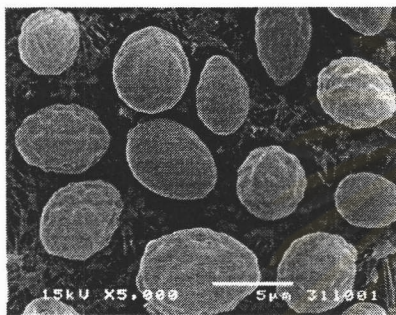


ข

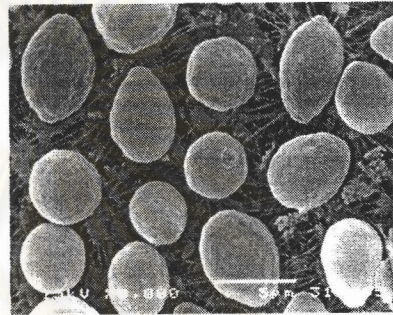
รูปที่ ข 1 การกระจายขนาดของเซลล์ยีสต์ (ก) คริมยีสต์เริ่มต้น (ข) ยีสต์ออกโตไลเซทชั่วโมงที่ 24

## 1.2 ลักษณะภายนอกของเซลล์ยีสต์

เมื่อนำเซลล์ยีสต์ก่อน และหลังจากผ่านการย่อยสลายตัวเองส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy) จะเห็นลักษณะของเซลล์ยีสต์หลังการย่อยสลายตัวเองมีลักษณะเหมือนเซลล์เริ่มต้น ไม่มีการฉีกขาด เป็นขึ้น ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกับ Martinez และคณะ (2001) ดังแสดงในรูปที่ ๑ 2



(ก)



(ข)

รูปที่ ๑ 2 ลักษณะของเซลล์เริ่มต้นก่อนการย่อยสลายตัวเอง(ก) และ (ข) เซลล์ที่ผ่านการย่อยสลายตัวเองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

## 2. การพิจารณาคัดเลือกเยื่อแผ่นในการทดลอง

นำเยื่อแผ่นทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ใ้กรองน้ำของบริษัท Fairey industrial ceramics Ltd.จากประเทศอังกฤษ (เยื่อแผ่นหมายเลข 1) และใ้กรองน้ำของบริษัทธนชัย เซลล์ แอนด์ เซอร์วิส จากประเทศไทย 2 แบบ คือ แบบหนา 8 มิลลิเมตร (เยื่อแผ่นหมายเลข 2) และแบบบาง (นำไปกลึงให้บางลง) 4 มิลลิเมตร (เยื่อแผ่นหมายเลข 3) ไปทำการวิเคราะห์สมบัติของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง poresizer ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ ๑ 1



ตารางที่ ข 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง poresizer

Physical Properties	เยื่อแผ่นหมายเลข		
	1	2	3
Total intrusion volume (ml/g)	0.2357	0.2222	0.0925
Total pore area (sq-m/g)	0.564	0.124	0.410
Median pore diameter(volume) ( $\mu\text{m}$ )	2.4072	7.3704	7.7068
Median pore diameter(area) ( $\mu\text{m}$ )	2.5808	7.9417	0.0077
Average pore diameter(4V/A) ( $\mu\text{m}$ )	1.6723	7.1467	0.9016
Bulk density (g/ml)	0.8517	0.7775	0.7861
Apparent density (g/ml)	1.0656	0.9399	0.8477
Porosity (%)	20.08	17.27	7.27
Stem volume used (%)	64	53	24

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์สมบัติของเยื่อแผ่นด้วยเครื่อง poresizer ร่วมกับผลการวัดขนาดอนุภาคของเซลล์ยีสต์ด้วยเครื่องวัดอนุภาค (Particle analyzer) รุ่น Coulter LS 230 พบว่า เซลล์ยีสต์ที่ต้องการกรองมีขนาดประมาณ 6.45 ไมโครเมตร และจากตารางที่ ข 1 จะเห็นว่าเยื่อแผ่นแบบบางหรือเยื่อแผ่นหมายเลข 3 มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยที่กระจายขนาดมาก อาจมีสาเหตุจากการกลิ้ง จากการวิเคราะห์พบว่ามีความหนาของรูพรุนขนาดเล็ก (0.9 ไมโครเมตร) ซึ่งน้อยกว่าขนาดของเซลล์ยีสต์มาก ทำให้ลักษณะการกรองทำได้ช้า เนื่องจากเกิดการอุดตันอยู่บริเวณผิวหน้าของเยื่อแผ่น และมีขนาดของรูพรุนที่ใหญ่เกินขนาดเซลล์ของยีสต์ ทำให้เซลล์ยีสต์สามารถผ่านการกรองไปได้ และความพรุนยังมีค่าต่ำ ทำให้ฟลักซ์ของการกรองต่ำ ส่วนเยื่อแผ่นแบบหนาหมายเลข 2 มีขนาดของรูพรุนเฉลี่ยเท่ากับ 7.2 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่มากกว่าขนาดของเซลล์ยีสต์ จึงไม่สามารถใช้คัดแยกเซลล์ในการทดลองนี้ได้ เพราะเซลล์สามารถหลุดไปปนกับเพอมีเอทได้ และการใช้เยื่อแผ่นหมายเลข 2 นี้ จะทำให้เซลล์เข้าไปอุดตันอยู่ภายในเยื่อแผ่น การทำความสะอาดทำได้ยาก ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้ จึงเลือกใช้เยื่อแผ่นแบบหนาหมายเลข 1 โดยเยื่อแผ่นมีขนาดของรูพรุนเท่ากับ 1.7 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถใช้กรองแยกเซลล์ยีสต์ได้ และมีค่าร้อยละของความพรุน (%porosity) สูง ทำให้ค่าฟลักซ์ในการกรองสูง



ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของการบ่มการย่อยสลายตัวเอง ที่ภาวะเสริมยีสต์เพิ่มขึ้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักแห้ง

เวลา ( ชั่วโมง )	ยีสต์สกัด				เซลล์				ยีสต์ออกโตไลเสท	
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ปริมาณ ( g/g dry yeast )	
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน
0	0.000	0.000	0.000	0.000	35.300	30.800	0.161	0.140	0.161	0.140
1	0.000	0.000	0.000	0.000	38.686	31.452	0.177	0.144	0.177	0.144
4	20.000	35.484	0.034	0.060	57.748	46.897	0.167	0.135	0.201	0.196
7	23.869	50.000	0.043	0.089	61.353	59.361	0.171	0.166	0.214	0.255
10	25.401	50.000	0.045	0.089	66.655	76.991	0.186	0.215	0.232	0.305
14	28.394	59.032	0.052	0.108	60.547	84.677	0.166	0.233	0.218	0.341
17	31.022	66.129	0.057	0.121	64.124	95.065	0.176	0.261	0.233	0.383
25	35.036	100.645	0.066	0.189	63.866	113.127	0.173	0.306	0.238	0.495
29	34.526	103.226	0.063	0.189	59.781	115.613	0.164	0.318	0.228	0.507
34	33.504	113.548	0.058	0.198	61.399	122.876	0.174	0.349	0.233	0.547
40	33.942	117.742	0.061	0.210	61.858	127.203	0.173	0.356	0.234	0.566
49	35.620	126.452	0.065	0.232	63.869	135.484	0.176	0.372	0.241	0.604

ตาราง ค 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของกระบวนการย่อยสลายตัวเอง ที่ภาวะคริมยีสต์เข้มข้นเต็มเกิดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เวลา (ชั่วโมง)	ยีสต์สกัด						เซลล์					
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		ยีสต์ออกโตไลเสท	
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน
0	0	0	0	0	35.3	30.8	0.161	0.14	0.161	0.14	0.161	0.14
1	8.891	16.471	0.014	0.026	46.816	31.906	0.135	0.092	0.149	0.118	0.149	0.118
4	18.222	24.744	0.033	0.045	54.237	34.500	0.142	0.090	0.175	0.136	0.175	0.136
7	25.088	39.239	0.047	0.073	55.595	43.034	0.143	0.111	0.190	0.184	0.190	0.184
12	36.004	45.388	0.067	0.085	65.547	63.824	0.169	0.165	0.236	0.249	0.236	0.249
17	37.324	53.294	0.076	0.109	71.940	69.424	0.173	0.167	0.249	0.276	0.249	0.276
23	37.060	65.886	0.072	0.129	77.444	74.638	0.193	0.186	0.265	0.315	0.265	0.315
29	40.317	87.848	0.081	0.176	68.839	88.158	0.168	0.215	0.249	0.391	0.249	0.391
35	44.894	99.561	0.088	0.195	71.107	88.072	0.177	0.219	0.265	0.414	0.265	0.414
41	44.190	102.489	0.086	0.200	72.515	102.573	0.180	0.255	0.267	0.456	0.267	0.456
49	45.951	110.688	0.088	0.212	75.064	114.316	0.190	0.290	0.278	0.501	0.278	0.501

ตาราง ค 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของการยกลายตัวเอง ที่ภาวะคริมยีสต์ที่มีการเติมน้ำ เป็นร้อยละ 11.25 โดยน้ำหนักแห้ง

เวลา (ชั่วโมง)	ยีสต์สกัด						เซลล์				ยีสต์ออกโตไลเอส	
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		ปริมาณ (g/g dry yeast)		กรดอะมิโน	
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน
0	0.000	0.000	0.000	0.000	35.500	30.800	0.161	0.140	0.161	0.140	0.161	0.140
1	1.980	2.643	0.009	0.012	33.543	26.137	0.149	0.116	0.149	0.116	0.158	0.128
4	15.657	15.000	0.095	0.091	36.216	20.738	0.103	0.059	0.103	0.059	0.198	0.150
7	23.030	28.571	0.141	0.175	37.179	21.922	0.102	0.060	0.102	0.060	0.244	0.236
10	27.778	35.143	0.170	0.216	40.845	28.877	0.113	0.080	0.113	0.080	0.283	0.295
13	28.687	44.143	0.178	0.275	45.471	27.726	0.121	0.074	0.121	0.074	0.300	0.349
16	31.515	52.000	0.196	0.324	43.318	30.542	0.116	0.081	0.116	0.081	0.312	0.405
22	30.303	55.000	0.189	0.342	46.278	32.708	0.123	0.087	0.123	0.087	0.312	0.429
28	29.798	56.143	0.185	0.349	42.511	37.906	0.113	0.101	0.113	0.101	0.299	0.450
34	30.808	62.143	0.189	0.381	45.034	39.627	0.124	0.109	0.124	0.109	0.313	0.490
41	28.485	65.000	0.177	0.404	43.857	42.238	0.117	0.113	0.117	0.113	0.294	0.517
49	33.030	66.000	0.200	0.399	42.592	42.913	0.121	0.122	0.121	0.122	0.321	0.521

ตาราง ค 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของกระบวนการยีสต์เข้มข้นแล้วทำการเติมน้ำลงในยีสต์ออกโตไลเซสท์ แล้วบ่มต่อจนถึง 49 ชั่วโมง

เวลา ( ชั่วโมง )	ยีสต์สกัด				เซลล์				ยีสต์ออกโตไลเซสท์		
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	
0	0	0	0	0	0	33.640	13.247	0.167	0.066	0.167	0.066
1	9.818	9.274	0.005	0.005	17.480	32.333	17.480	0.143	0.077	0.148	0.082
4	20.320	16.835	0.038	0.032	37.584	58.927	37.584	0.181	0.116	0.220	0.147
7	26.400	30.303	0.050	0.057	38.658	59.713	38.658	0.184	0.119	0.233	0.176
10	28.000	38.721	0.054	0.075	41.998	57.067	41.998	0.173	0.127	0.227	0.202
13	30.400	57.239	0.059	0.111	48.611	61.200	48.611	0.185	0.147	0.244	0.258
13	20.330	48.929	0.121	0.291	30.873	48.166	30.873	0.141	0.090	0.262	0.382
15	24.240	51.007	0.142	0.299	29.047	43.026	29.047	0.130	0.088	0.272	0.387
20	22.242	63.319	0.132	0.377	31.348	42.559	31.348	0.125	0.092	0.257	0.469
25	22.763	70.035	0.131	0.404	31.237	43.481	31.237	0.135	0.097	0.267	0.501
31	24.935	71.954	0.142	0.409	34.664	39.177	34.664	0.125	0.111	0.267	0.520
37	23.979	83.147	0.136	0.473	34.369	39.890	34.369	0.128	0.110	0.264	0.582
43	23.632	79.949	0.139	0.469	40.326	42.031	40.326	0.127	0.122	0.265	0.590
49	23.458	87.144	0.135	0.503	40.594	41.052	40.594	0.128	0.126	0.263	0.629

ตาราง ค 5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของกระบวนการย่อยสลายตัวเอง ที่ภาวะคริมยีสต์เข้มข้น 22 % โดยน้ำหนักแห้ง ในการทดลองการเติมน้ำก่อนเหวี่ยงแยก เพื่อดูผลของ forced diffusion

เวลา ( ชั่วโมง )	ยีสต์สกัด						เซลล์						ยีสต์ออกโตไลเสท			
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		โปรตีน		กรดอะมิโน		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		โปรตีน	
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน
0	0.412	0.313	0.004	0.003	35.300	30.800	0.161	0.140	0.165	0.143	0.161	0.140	0.165	0.143	0.165	0.143
1	0.847	0.814	0.008	0.007	51.241	28.203	0.235	0.129	0.242	0.137	0.235	0.129	0.242	0.137	0.242	0.137
4	4.562	5.837	0.048	0.062	52.066	32.502	0.162	0.101	0.211	0.163	0.162	0.101	0.211	0.163	0.211	0.163
7	6.934	14.670	0.074	0.157	44.791	32.677	0.135	0.099	0.210	0.256	0.135	0.099	0.210	0.256	0.210	0.256
10	8.102	16.974	0.088	0.184	43.187	33.238	0.125	0.096	0.213	0.280	0.125	0.096	0.213	0.280	0.213	0.280
13	9.854	16.743	0.107	0.183	37.688	32.040	0.107	0.091	0.214	0.274	0.107	0.091	0.214	0.274	0.214	0.274
16	11.314	17.512	0.124	0.192	37.241	41.019	0.104	0.115	0.228	0.306	0.104	0.115	0.228	0.306	0.228	0.306
21	11.752	21.505	0.130	0.237	31.675	39.069	0.086	0.106	0.215	0.343	0.086	0.106	0.215	0.343	0.215	0.343
26	11.314	25.038	0.124	0.275	33.723	39.677	0.093	0.109	0.217	0.384	0.093	0.109	0.217	0.384	0.217	0.384
31	10.876	26.267	0.120	0.290	33.355	42.443	0.090	0.115	0.210	0.405	0.090	0.115	0.210	0.405	0.210	0.405
36	11.277	27.189	0.124	0.299	31.551	41.613	0.087	0.114	0.211	0.413	0.087	0.114	0.211	0.413	0.211	0.413
41	11.642	27.803	0.129	0.307	29.735	43.640	0.080	0.118	0.209	0.425	0.080	0.118	0.209	0.425	0.209	0.425
49	11.387	28.111	0.125	0.309	30.657	42.581	0.084	0.117	0.209	0.426	0.084	0.117	0.209	0.426	0.209	0.426

ตาราง ค 6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของการย่อยสลายตัวเอง ที่ภาวะเสริมยีสต์เพิ่มขึ้น ที่เติมเกลือร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก  
ในการทดลองการเติมน้ำก่อนเหวี่ยงแยก เพื่อดูผลของ forced diffusion

เวลา ( ชั่วโมง )	ยีสต์สกัด				เซลล์				ยีสต์ออกโตไลเสท	
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ปริมาณ ( g/g dry yeast )	
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน
1	4.543	2.165	0.054	0.026	56.462	18.349	0.183	0.059	0.237	0.085
6	6.857	4.463	0.084	0.055	55.044	14.106	0.159	0.041	0.243	0.096
9	10.414	6.479	0.131	0.082	50.616	15.417	0.131	0.040	0.262	0.121
15	11.257	8.496	0.142	0.107	44.343	15.868	0.112	0.040	0.255	0.148
19	10.143	8.661	0.129	0.110	42.991	16.737	0.107	0.042	0.235	0.152
25	10.429	9.256	0.130	0.116	40.272	17.726	0.108	0.048	0.238	0.163
30	11.143	11.736	0.138	0.145	37.154	16.660	0.105	0.047	0.243	0.192
42	10.486	12.926	0.129	0.160	38.888	20.551	0.110	0.058	0.240	0.218
49	11.371	13.058	0.141	0.162	36.740	20.331	0.102	0.057	0.243	0.218



ตาราง ค 7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนและกรดอะมิโนตามเวลาของกระบวนการย่อยสลายตัวเอง ที่ภาวะเสริมยีสต์เติมน้ำเป็น 11.25% โดยน้ำหนักแห้ง ในการทดลองการเติมน้ำก่อนเหวี่ยงแยก เพื่อผลของ forced diffusion

เวลา ( ชั่วโมง )	ยีสต์สกัด				เซลล์				ยีสต์ออกโตไลเซส	
	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ ( g/g dry yeast )		โปรตีน	กรดอะมิโน
	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน		
0	0.319	0.113	0.008	0.003	35.300	30.800	0.161	0.140	0.169	0.143
7	4.237	3.911	0.116	0.107	44.479	49.723	0.135	0.151	0.251	0.258
10	5.724	5.951	0.156	0.162	38.684	49.857	0.121	0.156	0.277	0.318
15	7.259	10.372	0.198	0.283	35.583	48.363	0.108	0.147	0.306	0.430
19	8.069	12.771	0.221	0.349	34.749	46.851	0.106	0.142	0.326	0.491
23	8.832	14.150	0.240	0.384	34.257	42.692	0.111	0.138	0.351	0.522
27	8.687	16.379	0.236	0.444	33.993	41.546	0.110	0.135	0.346	0.579
31	8.687	18.344	0.237	0.501	34.054	41.108	0.103	0.125	0.341	0.626
37	8.533	19.723	0.230	0.531	30.903	38.578	0.106	0.133	0.336	0.664
41	8.948	20.554	0.240	0.551	30.000	38.611	0.106	0.137	0.346	0.688

สารป้อน	2500	มิลลิลิตร
น้ำหนักเยื่อแห้ง	301	กรัม
ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น	0.14	กรัมต่อกรัมเยื่อแห้ง
ปริมาณกรดอะมิโนเริ่มต้น	0.3	กรัมต่อกรัมเยื่อแห้ง

เวลา	Flux L/m <sup>2</sup> -h	permeate ml	ความเข้มข้น(mg/ml)		ปริมาณ (มิลลิกรัม)		ปริมาณ (มก.ต่อกรัมเยื่อแห้ง)	
			กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน
3	22.70	16.8	2.01	2.95	33.73	49.52	0.11	0.16
6	21.08	15.6	3.14	4.21	48.93	65.68	0.16	0.22
9	19.46	14.4	18.44	14.21	265.60	204.63	0.88	0.68
12	18.65	13.8	24.34	17.16	335.91	236.78	1.12	0.79
15	17.03	12.6	33.12	21.05	417.37	265.26	1.39	0.88
20	16.22	20	37.26	21.37	745.29	427.37	2.48	1.42
30	16.22	40	41.91	22.00	1676.29	880.00	5.57	2.92
40	14.59	36	41.41	22.63	1490.59	814.74	4.95	2.71

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารป้อน	2500	มิลลิลิตร
น้ำหนักเยื่อแห้ง	301	กรัม
ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น	0.14	กรัมต่อกรัมเยื่อแห้ง
ปริมาณกรดอะมิโนเริ่มต้น	0.3	กรัมต่อกรัมเยื่อแห้ง

เวลา	Flux L/m <sup>2</sup> -h	permeate ml	ความเข้มข้น(mg/ml)		ปริมาณ (มิลลิกรัม)		ปริมาณ (มก.ต่อกรัมเยื่อแห้ง)	
			กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน
3	36.49	27	37.26	19.53	1006.15	527.22	3.34	1.75
9	31.22	47	41.53	20.83	1951.94	978.93	6.48	3.25
15	28.38	56.5	44.29	24.62	2502.45	1390.77	8.31	4.62
20	26.35	32.5	46.30	23.55	1504.71	765.38	5.00	2.54
30	23.92	60.5	46.17	24.73	2793.48	1496.39	9.28	4.97
40	23.51	58	47.43	24.02	2750.82	1393.37	9.14	4.63

ตาราง ค 10 ผลการทดลองที่ใช้ความดันในการกรองเท่ากับ 0.28 บาร์

103

สารป้อน 2000 มิลลิลิตร

ปริมาตรส่วนใสเริ่มต้นคิดเป็น

1314 มิลลิลิตร

น้ำหนักยีสต์แห้ง

225

กรัม

ปริมาณโปรตีนเริ่มต้น

0.14

กรัมต่อกรัมยีสต์แห้ง

ปริมาณกรดอะมิโนเริ่มต้น

0.3

กรัมต่อกรัมยีสต์แห้ง

เวลา	flux l/m <sup>2</sup> -h	ปริมาตร (ml)	ความเข้มข้น (mg/ml)		ปริมาณ (มิลลิกรัม)		ปริมาณ (มก.ต่อกรัมยีสต์แห้ง)	
			กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน	กรดอะมิโน	โปรตีน
3	87.16	94	21.95	16.76	2063.30	1575.44	9.17	7.00
6	46.62	31	36.62	24.53	1135.32	760.32	5.05	3.38
9	40.54	31	40.63	27.77	1259.63	860.76	5.60	3.83
12	37.30	27	41.16	27.94	1111.21	754.26	4.94	3.35
15	36.49	26	41.82	24.53	1066.36	625.43	4.74	2.78
20	33.24	40	42.66	26.33	1706.36	1053.03	7.58	4.68
30	30.41	73	41.69	24.91	3043.25	1818.09	13.53	8.08
40	28.38	67	42.89	25.28	2873.64	1694.03	12.77	7.53
50	28.38	65	42.89	25.28	2787.86	1643.47	12.39	7.30
60	26.35	63	41.04	24.91	2565.03	1556.58	11.40	6.92
70	29.19	69	40.13	23.11	2768.96	1594.32	12.31	7.09
80	28.38	60	39.08	23.01	2344.51	1380.68	10.42	6.14
90	24.32	56	38.50	22.00	2156.00	1232.00	9.58	5.48
100	24.32	54	38.61	21.97	2085.09	1186.36	9.27	5.27
110	23.11	51	38.92	21.12	1984.83	1076.99	8.82	4.79
120	26.35	50	39.22	20.74	1961.04	1036.93	8.72	4.61
130	21.89	48	34.17	20.93	1640.11	1004.55	7.29	4.46
140	20.27	46	30.52	17.14	1403.90	788.45	6.24	3.50
150	20.27	44	29.50	17.00	1298.00	748.00	5.77	3.32
160	19.46	44	28.96	16.29	1274.29	716.67	5.66	3.19
170	19.05	41	29.00	16.40	1189.00	672.40	5.28	2.99
180	18.65	38	29.48	16.10	1120.26	611.74	4.98	2.72
190	21.08	40	22.00	15.00	880.00	600.00	3.91	2.67
200	18.24	41	21.95	15.06	904.26	620.34	4.02	2.76
210	18.24	41	22.00	15.20	902.00	623.20	4.01	2.77
220	18.24	41	22.30	15.44	914.12	632.86	4.06	2.81
230	18.24	41	22.50	15.00	911.25	607.50	4.05	2.70
240	18.24	41	22.77	15.34	922.37	621.31	4.10	2.76



ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะการกรอง ยีสต์ออกโตไลสที่เจือจางให้เป็นร้อยละ 11.25 โดยน้ำหนักแห้ง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1500 รอบต่อนาที ความดันคร่อมตัวกรอง 0.02 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 30 ลิตรต่อชั่วโมง และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก 0.0078 เมตร โดย

ความเข้มข้นของสารแขวนลอย	=	112.5	กรัมต่อลิตร
ความหนืดของสารแขวนลอย	=	0.001864	กิโลกรัมต่อเมตร-วินาที
ความหนาแน่นของสารแขวนลอย	=	1040	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ความหนืดคิเนมาติก ( $\mu/\rho$ )	=	$1.79 \times 10^{-6}$	ตารางเมตรต่อวินาที
รัศมีของตัวกรอง ( $R_1$ )	=	0.0241	เมตร
รัศมีของทรงกระบอกชั้นนอก ( $R_2$ )	=	0.0319	เมตร
ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก ( $\Delta$ )	=	$R_2 - R_1$	
	=	0.0078	เมตร

1. ค่าเทย์เลอร์นัมเบอร์ จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.8

$$Ta = \frac{2\pi R_1 \Delta}{\nu} \left( \frac{2\Delta}{R_1 + R_2} \right)^{0.5}$$

แทนค่า

$$Ta = \frac{2\pi \times 1500 \times 0.0021 \times 0.0018}{2.4 \times 10^{-6}} \left( \frac{2 \times 0.0018}{0.00316 + 0.0021} \right)^{0.5}$$

$$\therefore Ta = 8560$$

2. ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ตามแนวแกน จากความสัมพันธ์ตามสมการ 2.10

$$Re_a = \frac{vd_H}{\nu}$$

แทนค่า

$$Re_a = \frac{30 \times 2 \times 0.0018}{1000 \times 2.4 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore Re_a = 52.61$$

3. ค่าอัตราการเจือจางจากความสัมพัทธ์ตามสมการ 2.12

$$\gamma_{\text{eff}} = 0.23\sqrt{\text{Ta}} \frac{2\pi R_1}{\Delta}$$

แทนค่า

$$\gamma_{\text{eff}} = 0.23\sqrt{8300} \frac{2\pi R_1}{\Delta}$$

$$\therefore \gamma_{\text{eff}} = 10420.26$$

ดังนั้น ค่าอัตราการเจือจาง เท่ากับ 10420 ต่อวินาที



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพึงใจ บุญเย็น เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกาญจนบุรี เข้าศึกษา  
ระดับชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรี  
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
ในปีการศึกษา 2542 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย