

จากการคำนวณเพื่อการขยายสเกลการผลิตกรดแลกติกในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 90 ลิตร โดยใช้เกณฑ์คงที่หลัก 4 เกณฑ์ พบว่า การกำหนดให้อัตราการไหลวนของน้ำหมักในถังปฏิกรณ์ชีวภาพเป็นเกณฑ์คงที่ ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการทดลองระดับนำร่อง เนื่องจากอัตราการปั่นกววนที่จะใช้ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพขนาด 90 ลิตร มีค่าสูงมากเกินไป

### ข้อเสนอแนะ

ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการทดลองรวมถึงข้อมูลการคำนวณขยายสเกล สามารถนำไปใช้ในการทดลองการหมักกรดแลกติกจากกากมันสำปะหลังในระดับนำร่องต่อไป เพื่อคัดเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการขยายสเกลการหมักกรดแลกติกในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสตีต และเพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการหมักให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นหากนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรม

### บรรณานุกรม

- Agger T., Spohr A.B., Carlsen M. and Nielsen J. 1998. Growth and product formation of *Aspergillus oryzae* during submerged cultivations: verification of a morphologically structured model using fluorescent probes. *Biotechnology and Bioengineering*, 57: 321-329.
- Bai D.-M., Jia M.-Z., Zhao X.-M., Ban R., Shen F., Li X.-G. and Xu S.-M. 2003. L(+)-lactic acid production by pellet-form *Rhizopus oryzae* R1021 in a stirred tank fermentor. *Chemical Engineering Science*, 58: 785-791.
- Benninga H. 1990. A history of lactic acid making. Kluwer Academic.
- Chen Y., Huang S., Tang Z., Chen X. and Zhang Z. 2011. Structural changes of cassava starch granules hydrolyzed by a mixture of  $\alpha$ -amylase and glucoamylase. *Carbohydrate Polymers*, 85: 272-275.
- Chotisubha-anandha N., Thitiprasert S., Tolieng V. and Thongchul N. 2011. Improved oxygen transfer and increased L-lactic acid production by morphology control of *Rhizopus oryzae* in a static bed bioreactor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 34: 163-172.
- Cruz A.J.G., Almeida R.M.R.G., Araujo M.L.G.C., Giordano R.C. and Hokka C.O. 2001. The dead core model applied to beads with immobilized cells in a fed-batch cephalosporin C production bioprocess. *Chemical Engineering Science*, 56: 419-425.

- Cui Y.Q., van der Lans R.G.J.M. and Luyben K.C.A.M. 1998. Effects of dissolved oxygen tension and mechanical forces on fungal morphology in submerged fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, 57: 409-419.
- Fontana P., Schefer J. and Pettit D. 2011. Characterization of sodium chloride crystals grown in microgravity. *Journal of Crystal Growth*, 324: 207–211.
- Hang Y.D. 1989. Direct fermentation of corn to L(+)-lactic acid by *Rhizopus oryzae*. *Biotechnology Letters*, 11: 299-300.
- Hang Y.D., Hamamci H. and Woodams E.E. 1989. Production of L(+)-lactic acid by *Rhizopus oryzae* immobilized in calcium alginate gels. *Biotechnology Letters*, 11: 119-120.
- Hellendoorn L., Mulder H., van den Heuvel J.C. and Ottengraf S.P.P. 1998. Intrinsic kinetic parameters of the pellet forming fungus *Aspergillus awamori*. *Biotechnology and Bioengineering*, 58: 478-485.
- Ho W. 1996. Kinetics of L(+)-lactic acid production from glucose, xylose, and starch by free cells and immobilized cells of *Rhizopus oryzae*. MS Thesis, The Ohio State University, Columbus, Ohio.
- Huang L.P., Jin B., Lant P. and Zhou J. 2003. Biotechnological production of lactic acid integrated with potato wastewater treatment by *Rhizopus arrhizus*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 78: 899-906.
- Jin B. and van Leeuwen J. 1999. The influence of geometry on hydrodynamic and mass transfer characteristics in an external airlift reactor for the cultivation of filamentous fungi. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 15: 83-90.
- John R.P. Nampoothiri K.M. and Pandey A. 2007. Fermentative production of lactic acid from biomass: an overview on process developments and future perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74: 524-534.
- Kobayashi T., van Dedem G. and Moo-Young M. 1973. Oxygen transfer into mycelial pellets. *Biotechnology and Bioengineering*, 15: 27-45.
- Kosakai Y., Park Y.S. and Okabe M. 1997. Enhancement of L(+)-lactic acid production using mycelial flocs of *Rhizopus oryzae*. *Biotechnology and Bioengineering*, 55: 461-470.

- Longacre A., Reimers J.M., Gannon J.E. and Wright B.E. 1997. Flux analysis of glucose metabolism in *Rhizopus oryzae* in the purpose of increasing lactate yield. *Fungal Genetics and Biology*, 21: 30-39.
- Martak J., Schlosser S., Sabolova E., Kristofikova L. and Rosenberg M. 2003. Fermentation of lactic acid with *Rhizopus arrhizus* in a stirred tank reactor with a periodical bleed and feed operation. *Process Biochemistry*, 38: 1573-1583.
- Oh H., Wee Y.-J., Yun J.-S. and Ryu H.-W. 2003. Lactic acid production through cell-recycle repeated-batch bioreactor. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 105-108: 603-613.
- Oostra J., le Comte E.P., van den Heuval J.C., Tramper J. and Rinzema A. 2001. Intra-particle oxygen diffusion limitation in solid-state fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, 75: 13-24.
- Persson A., Jonsson A.S. and Zacchi G. 2001. Separation of lactic acid-producing bacteria from fermentation broth using a ceramic microfiltration membrane with constant permeated flow. *Biotechnology and Bioengineering*, 72: 269-277.
- Pritchard G.G. 1973. Factors affecting the activity and synthesis of NAD-dependent lactate dehydrogenase in *Rhizopus oryzae*. *Journal of General Microbiology*, 78: 125-137.
- Ruengruglikit C. and Hang Y.D. 2003. L(+)-lactic acid production from corncoobs by *Rhizopus oryzae* NRRL-395. *Swiss Society of Food Science and Technology*, 36: 573-575.
- Skory C.D., Freer S.N. and Bothast R.J. 1998. Production of L-lactic acid by *Rhizopus oryzae* under oxygen limiting conditions. *Biotechnology Letters*, 20: 191-194.
- Skory C.D. 2003. Induction of *Rhizopus oryzae* pyruvate decarboxylase genes. *Current Microbiology*, 47: 59-64.
- Skory C.D. 2004. Lactic acid production by *Rhizopus oryzae* transformants with modified lactate dehydrogenase activity. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 64: 237-242.
- Soccol C.R., Stonoga V.I. and Raimbault M. 1994. Production of L(+)-lactic acid by *Rhizopus* species. *World Journal of Biotechnology and Microbiology*, 10: 433-435.
- Sriroth K., Chollakup R., Chotineeranat S., Piyachomkwan K. and Oates C.G. 2000. Processing of cassava waste for improved biomass utilization. *Bioresource Technology*, 71: 63-69.

- Sun Y., Li Y.-L., Bai S., Yang H. and Hu Z.-D. 1998. Stability of immobilized *R. oryzae* in repetitive batch productions of L(+)-lactic acid: effect of inorganic salts. *Bioprocess Engineering*, 19: 155-157.
- Sun Y., Li Y.-L. and Bai S. 1999. Modeling of continuous L(+)-lactic acid production with immobilized *R. oryzae* in an airlift bioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, 3: 87-90.
- Tay A. and Yang S.-T. 2002. Production of L(+)-lactic acid from glucose and starch by immobilized cells of *Rhizopus oryzae* in a rotating fibrous bed bioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 80: 1-12.
- Thongchul N. and Yang S.-T. 2003. Controlling filamentous fungal morphology by immobilization on a rotating fibrous matrix to enhance oxygen transfer and L(+)-lactic acid production by *Rhizopus oryzae*. In *ACS Symposium Series on Fermentation Process Development, volume 862*, ed. B.C. Saha. Oxford University Press, Cary, NC, pp. 36-51.
- Thongchul N. 2005. *Lactic acid production by immobilized Rhizopus oryzae in a rotating fibrous bed bioreactor*. PhD Thesis. Program in Chemical engineering. The Ohio State University. Columbus, Ohio.
- Thongchul N. and Yang S.-T. 2006. Controlling biofilm growth and lactic acid production by *Rhizopus oryzae* in a rotating fibrous bed bioreactor: effects of dissolved oxygen, rotational speed, and urea concentration. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers*, 37: 1-13.
- Thongchul N., Navankasattusas S. and Yang S.-T. 2010. Production of lactic acid and ethanol by *Rhizopus oryzae* integrated with cassava pulp hydrolysis. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 33: 407-416.
- Wee Y.J., Kim J.N. and Ryu H.W. 2006. Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. *Food Technology and Biotechnology*, 44: 163-172.
- Williams S.T. and Flowers T.H. 1978. The influence of pH on starch hydrolysis by neutrophilic and acidophilic *actinomycetes*. *Microbios*. 20: 99-106.
- Woiciechowski A.L., Soccol C.R., Ramos L.P. and Pandey A. 1999. Experimental design to enhance the production of L(+)-lactic acid from steam-exploded wood hydrolysate using *Rhizopus oryzae* in a mixed-acid fermentation. *Process Biochemistry*, 34: 949-955.

- Wyman C.E., Dale B.E., Elander R.T., Holtzaple M., Ladisch M.R. and Lee Y.Y. 2005. Coordinated development of leading biomass pretreatment technologies. *Bioresource Technology*, 96: 1959-1966.
- Yao W.Y., Wu X., Zhu J., Sun B. and Miller C. 2010. Utilization of protein extract from dairy manure as a nitrogen source by *Rhizopus oryzae* NRRL 395 for L-lactic acid production. *Bioresource Technology*, 101: 4132-4138.
- Yin P., Nishina N., Kosakai Y., Yahiro K., Park Y. and Okabe M. 1997. Enhanced production of L(+)-lactic acid from corn starch in a culture of *Rhizopus oryzae* using an air-lift bioreactor. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 84: 249-253.
- Yu R.-C. and Hang Y.D. 1989. Kinetics of direct fermentation of agricultural commodities to L(+)-lactic acid by *Rhizopus oryzae*. *Biotechnology Letters*, 11: 597-600.
- Zhang Z.Y., Jin B. and Kelly J.M. 2007. Production of lactic acid from renewable materials by *Rhizopus* fungi. *Biochemical Engineering Journal*, 35: 251-263.
- Zhao X., Peng F., Cheng K. and Liu D. 2009. Enhancement of the enzymatic digestibility sugarcane bagasse by alkali-peracetic acid pretreatment. *Enzyme and Microbial Technology*, 44: 17-23.

ตารางที่ 1 ปริมาณเซลล์ของ *R. oryzae* ในการหมักด้วยกลูโคส และอัตราการถ่ายเทออกซิเจนใน กระบวนการที่อัตราการปั่นกวนและอัตราการให้อากาศต่างๆ กัน ภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบ เเบดสติด

| Aeration (vvm) | Agitation (rpm) | Impeller tip speed (m/s) | Total cell biomass (g) | $K_{La}$ ( $s^{-1}$ ) |
|----------------|-----------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| 0.5            | 100             | 0.02                     | 24.23                  | $1.24 \times 10^{-2}$ |
|                | 300             | 0.07                     | 22.79                  | $2.57 \times 10^{-2}$ |
|                | 500             | 0.11                     | 39.00                  | $3.03 \times 10^{-2}$ |
|                | 700             | 0.15                     | 32.43                  | $4.01 \times 10^{-2}$ |
| 1.0            | 100             | 0.02                     | 21.76                  | $1.04 \times 10^{-2}$ |
|                | 300             | 0.07                     | 28.53                  | $4.98 \times 10^{-2}$ |
|                | 500             | 0.11                     | 24.66                  | $4.97 \times 10^{-2}$ |
|                | 700             | 0.15                     | 24.73                  | $4.01 \times 10^{-2}$ |

Remarks: impeller diameter = 7 cm; tank diameter = 17 cm; tank height = 24 cm

ตารางที่ 2 ผลของการปั่นกวนและการให้อากาศต่อการผลิตกรดแลคติกโดยเซลล์ตรึงของ *R. oryzae* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติด

| Aeration (vvm) | Agitation (rpm) | Lactic acid yield (g/g glc) |            | Productivity (g lac/L·h) |            | Max. lac conc.(g/L) |
|----------------|-----------------|-----------------------------|------------|--------------------------|------------|---------------------|
|                |                 | growth                      | production | growth                   | production |                     |
| 0.5            | 100             | 0.26                        | 0.53       | 0.42                     | 1.40       | 33.29               |
|                | 300             | 0.11                        | 0.60       | 0.22                     | 0.94       | 33.12               |
|                | 500             | 0.26                        | 0.57       | 0.38                     | 0.99       | 35.49               |
|                | 700             | 0.08                        | 0.62       | 0.15                     | 2.09       | 37.83               |
| 1.0            | 100             | 0.13                        | 0.56       | 0.22                     | 1.10       | 34.27               |
|                | 300             | 0.23                        | 0.63       | 0.37                     | 1.57       | 36.07               |
|                | 500             | 0.27                        | 0.56       | 0.23                     | 0.95       | 33.29               |
|                | 700             | 0.20                        | 0.56       | 0.25                     | 0.78       | 33.26               |

Remarks: growth refers to growth phase; production refers to production phase

ตารางที่ 3 ผลของการปั่นกวนและการให้อากาศต่อการผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้เอทานอลโดยเซลล์ ตรึงของ *R. oryzae* ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติด

| Aeration (vvm) | Agitation (rpm) | Ethanol yield (g/g glc) |            | Productivity (g eth/L·h) |            | Max. eth conc.(g/L) |
|----------------|-----------------|-------------------------|------------|--------------------------|------------|---------------------|
|                |                 | growth                  | production | growth                   | production |                     |
| 0.5            | 100             | 0.45                    | 0.21       | 0.39                     | 0.41       | 10.03               |
|                | 300             | 0.24                    | 0.27       | 0.54                     | 0.26       | 14.31               |
|                | 500             | 0.15                    | 0.08       | 0.19                     | 0.11       | 8.33                |
|                | 700             | 0.31                    | 0.14       | 0.63                     | 0.46       | 12.34               |
| 1.0            | 100             | 0.39                    | 0.07       | 0.36                     | 0.13       | 10.31               |
|                | 300             | 0.03                    | 0.09       | 0.31                     | 0.23       | 7.90                |
|                | 500             | 0.23                    | 0.09       | 0.09                     | 0.21       | 4.50                |
|                | 700             | 0.07                    | 0.00       | 0.10                     | 0.00       | 3.87                |

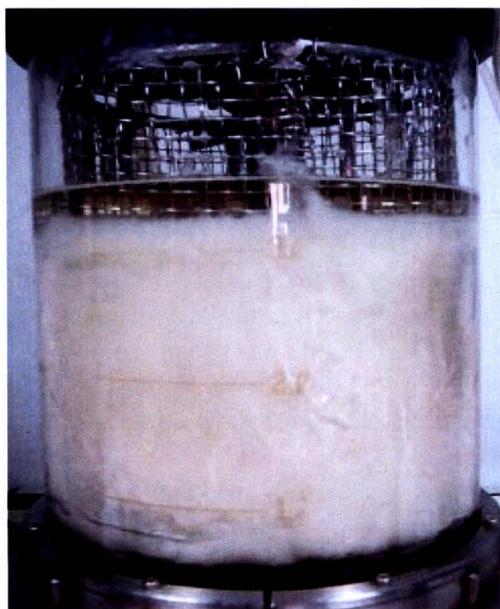
Remarks: growth refers to growth phase; production refers to production phase

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการผลิตกรดแลคติกในการหมักแบบเซลล์ตรึงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบดัดลิตที่ภาวะต่างๆ (ปริมาตรน้ำหมักเริ่มต้น 3 ลิตร)

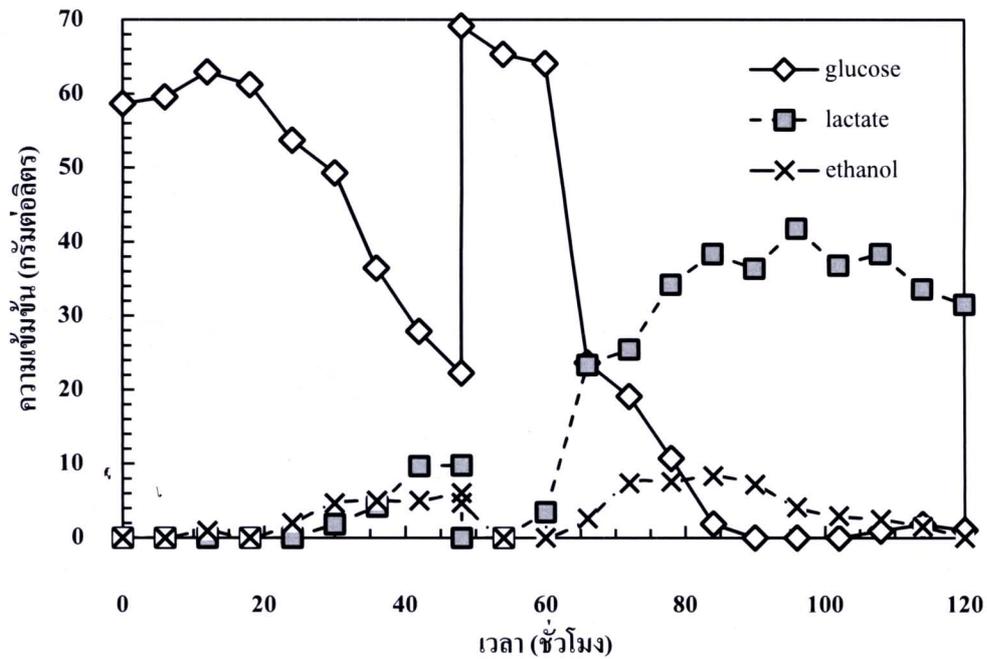
| Carbon source | Y <sub>P/S</sub> lactic acid (%) |       | Productivity lactic acid (g/L·h) |      | Y <sub>P/S</sub> ethanol (%) |       | Productivity ethanol (g/L·h) |      | Max lactic acid conc. (g/L) | Cell dry weight (g) | K <sub>L</sub> a (s <sup>-1</sup> ) |
|---------------|----------------------------------|-------|----------------------------------|------|------------------------------|-------|------------------------------|------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------------|
|               | GM                               | PM    | GM                               | PM   | GM                           | PM    | GM                           | PM   |                             |                     |                                     |
| Glucose       | 8.25                             | 75.55 | 0.12                             | 1.68 | 23.06                        | 5.65  | 0.33                         | 0.13 | 53.61                       | 35.12               | 0.045                               |
| ECPHNP        | 6.70                             | 41.57 | 0.08                             | 0.66 | 30.22                        | 18.68 | 0.35                         | 0.49 | 26.57                       | 57.26               | 0.033                               |
| ECPHSP        | 8.99                             | 44.48 | 0.09                             | 0.64 | 35.35                        | 16.38 | 0.34                         | 0.38 | 25.41                       | 58.09               | 0.049                               |
| ECPHSNP       | 2.18                             | 12.56 | 0.02                             | 0.16 | 46.14                        | 21.32 | 0.34                         | 0.27 | 7.63                        | 64.42               | 0.041                               |
| HACPH         | 6.62                             | 12.84 | 0.06                             | 0.14 | 29.32                        | 23.84 | 0.26                         | 0.26 | 6.75                        | 76.81               | 0.041                               |
| GS            | -                                | 53.10 | -                                | 0.70 | -                            | 17.11 | -                            | 0.23 | 33.77                       | 55.62               | 0.043                               |

**Remarks:**

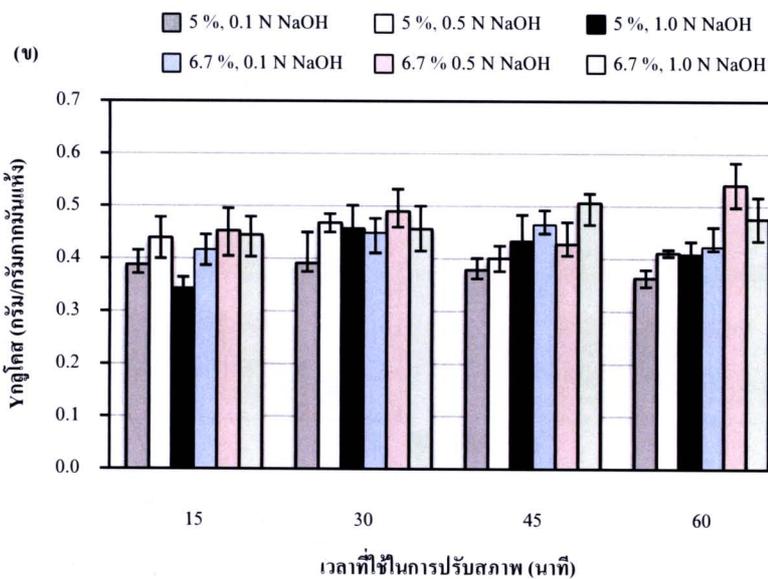
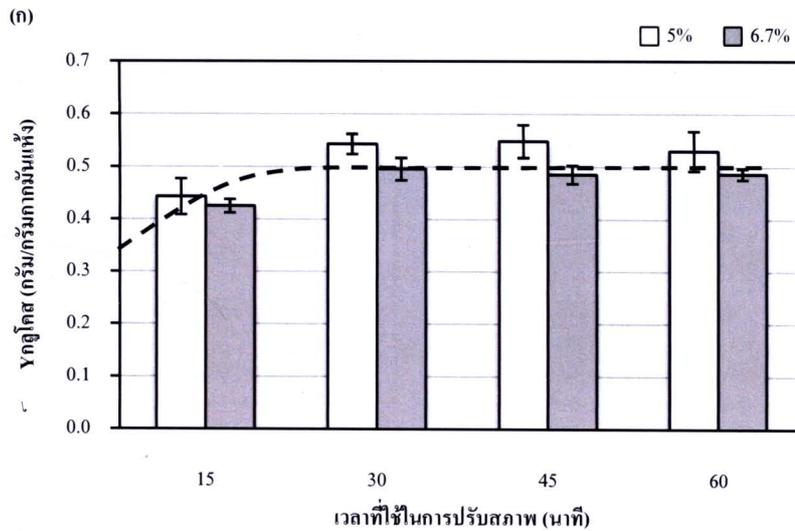
|         |   |
|---------|---|
| GM      | Growth medium   |
| PM      | Production medium   |
| GS      | Gelatinized Starch  |
| ECPHNP  | Enzyme-treated cassava pulp hydrolysate by non-pretreatment             |
| ECPHSP  | Enzyme-treated cassava pulp hydrolysate by steam pretreatment           |
| ECPHSNP | Enzyme-treated cassava pulp hydrolysate by steam with NaOH-pretreatment |
| HACPH   | HCl-treated cassava pulp hydrolysate                                    |



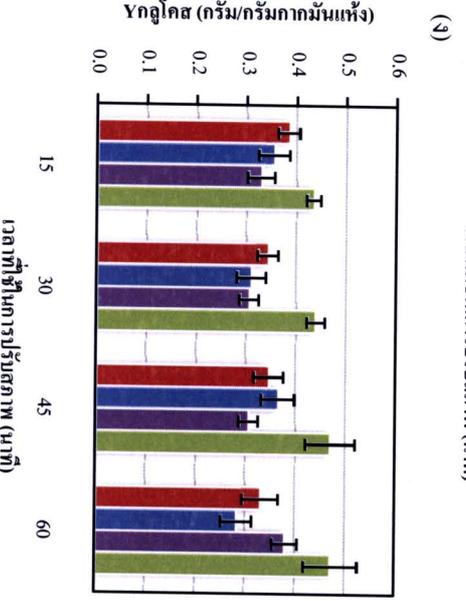
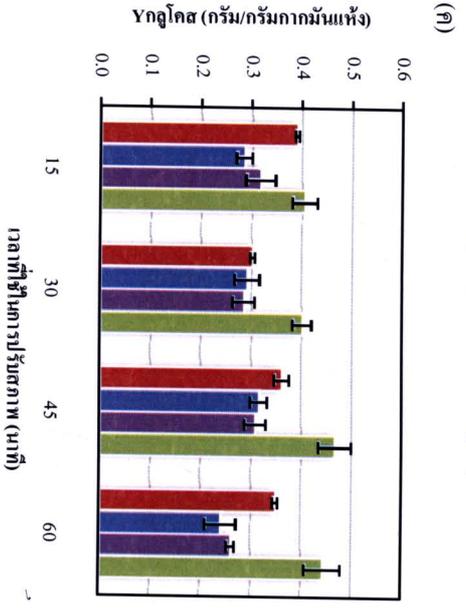
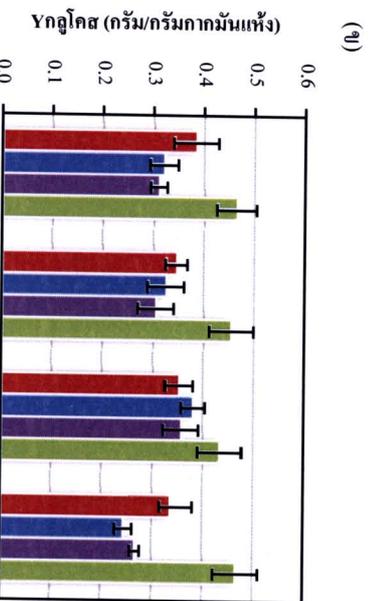
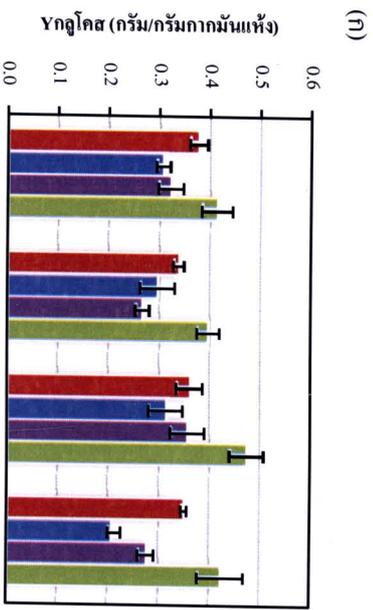
รูปที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของ *R. oryzae* ที่ตรึงบนผ้าขนหนูในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสถิต



รูปที่ 2 จลนพลศาสตร์ของการหมักกรดแลคติกจากกลูโคสโดยเซลล์ตรึงของ *R. oryzae* บนผ้าขนหนูในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติดที่ควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส พีเอช 6.0 ความเร็วการปั่นกวน 700 รอบต่อนาที และอัตราการให้อากาศ 0.5 ปริมาตรต่อปริมาตรต่อนาที

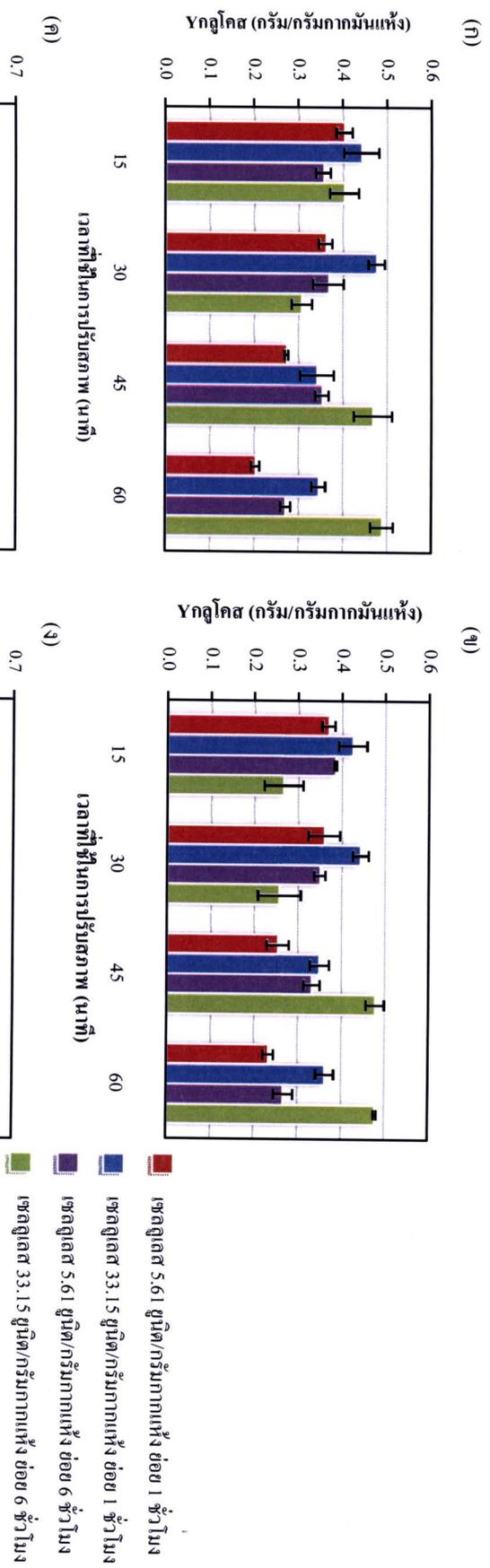


**รูปที่ 3** yield ของกลูโคส (กรัมต่อกรัมกากมันแห้ง) ในสารละลายที่แยกออกมาภายหลังการปรับสภาพด้วย (ก) การใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (steam pretreatment) และ (ข) การใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับการใช้สารละลายแอสคาโลน (steam with combination of alkaline treatment)



■ เชลลูโลส 5.61 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง ย่อย 1 ชั่วโมง  
 ■ เชลลูโลส 33.15 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง ย่อย 1 ชั่วโมง  
 ■ เชลลูโลส 5.61 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง ย่อย 6 ชั่วโมง  
 ■ เชลลูโลส 33.15 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง ย่อย 6 ชั่วโมง

**รูปที่ 4** yield ของกลูโคสหลังการย่อยกากมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน ความเข้มข้นของกากมัน 5% จากนั้นนำทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และอะไมเลส (ก) อะไมเลส 16.8 ยูนิต์ต่อกรัมกากมันแห้ง 15 นาที (ง) อะไมเลส 16.8 ยูนิต์ต่อกรัมกากมันแห้ง 30 นาที (ค) อะไมเลส 33.6 ยูนิต์ต่อกรัมกากมันแห้ง 15 นาที (จ) อะไมเลส 33.6 ยูนิต์ต่อกรัมกากมันแห้ง 30 นาที

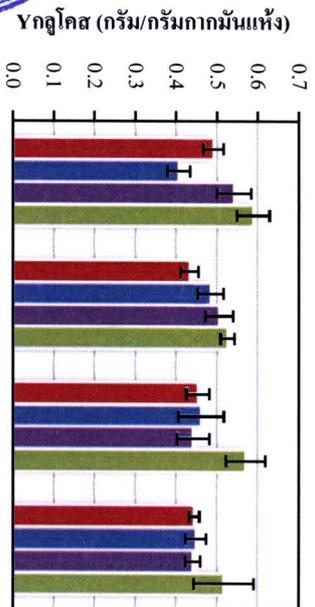


**รูปที่ 5** yield ของกลูโคสภายใต้การย่อยกากมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน ความเข้มข้นของกากมัน 6.7%

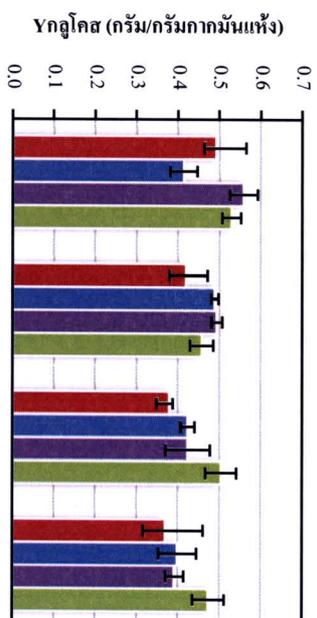
จากนั้นนำมาทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และอะไมเลส (ก) อะไมเลส 16.8 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 15 นาที; (ข) อะไมเลส 16.8 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 30 นาที; (ค) อะไมเลส 33.6 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 15 นาที; (ง) อะไมเลส 33.6 ยูนิตต่อกรัมน้ำหนักแห้ง 30 นาที



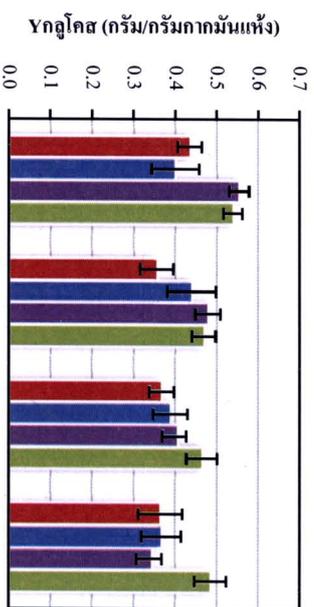
(ก)



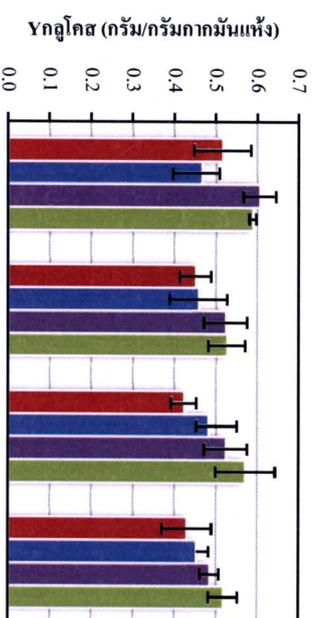
(ข)



(ค)

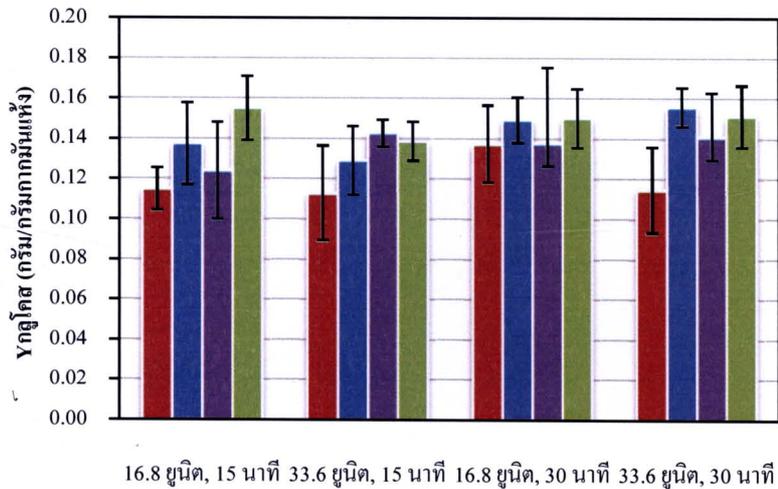


(ง)



- เชื้อยีสต์ 5.61 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง 1 ชั่วโมง
- เชื้อยีสต์ 5.61 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง 3 ชั่วโมง
- เชื้อยีสต์ 5.61 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง 6 ชั่วโมง
- เชื้อยีสต์ 33.15 ยูนิต์/กรัมกากมันแห้ง 20%

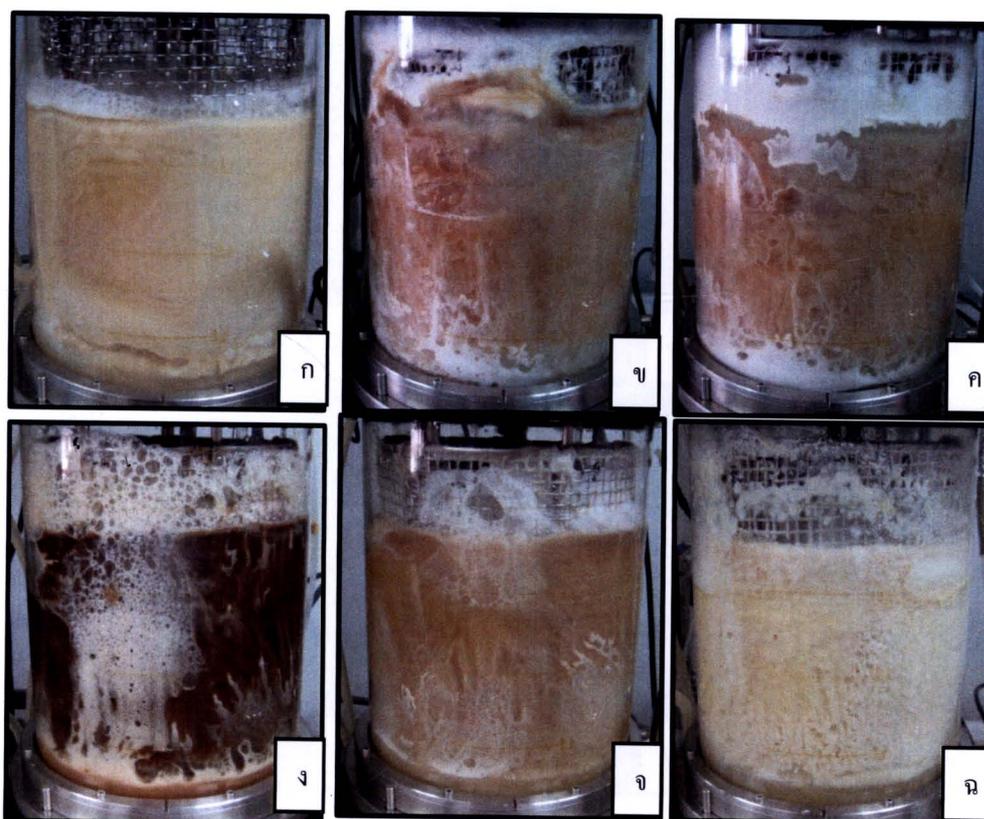
**รูปที่ 6** yield ของกลูโคสภายใต้การย่อยกากมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน ความเข้มข้นของกากมัน 20% จากนั้นนำมาทำการย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และอะไมเลส (ก) อะไมเลส 16.8 ยูนิต์ต่อกรัมกากมัน 15 นาที (ข) อะไมเลส 16.8 ยูนิต์ต่อกรัมกากมัน 30 นาที (ค) อะไมเลส 16.8 ยูนิต์ต่อกรัมกากมัน 15 นาที (ง) อะไมเลส 33.6 ยูนิต์ต่อกรัมกากมัน 30 นาที



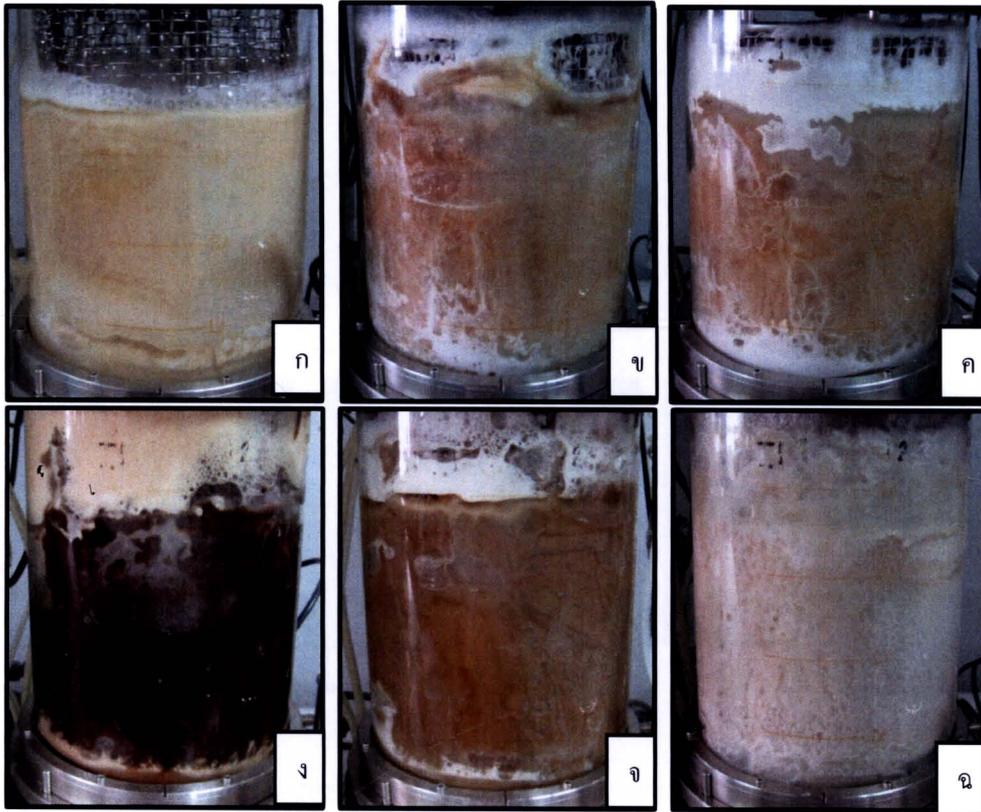
ปริมาณของอะไมเลส (ยูนิตต่อกรัมกากมันแห้ง) และระยะเวลาในการบ่ม

- เซลลูเลส 5.61 ยูนิต/กรัมกากแห้ง ย่อย 1 ชั่วโมง
- เซลลูเลส 33.15 ยูนิต/กรัมกากแห้ง ย่อย 1 ชั่วโมง
- เซลลูเลส 5.61 ยูนิต/กรัมกากแห้ง ย่อย 6 ชั่วโมง
- เซลลูเลส 33.15 ยูนิต/กรัมกากแห้ง ย่อย 6 ชั่วโมง

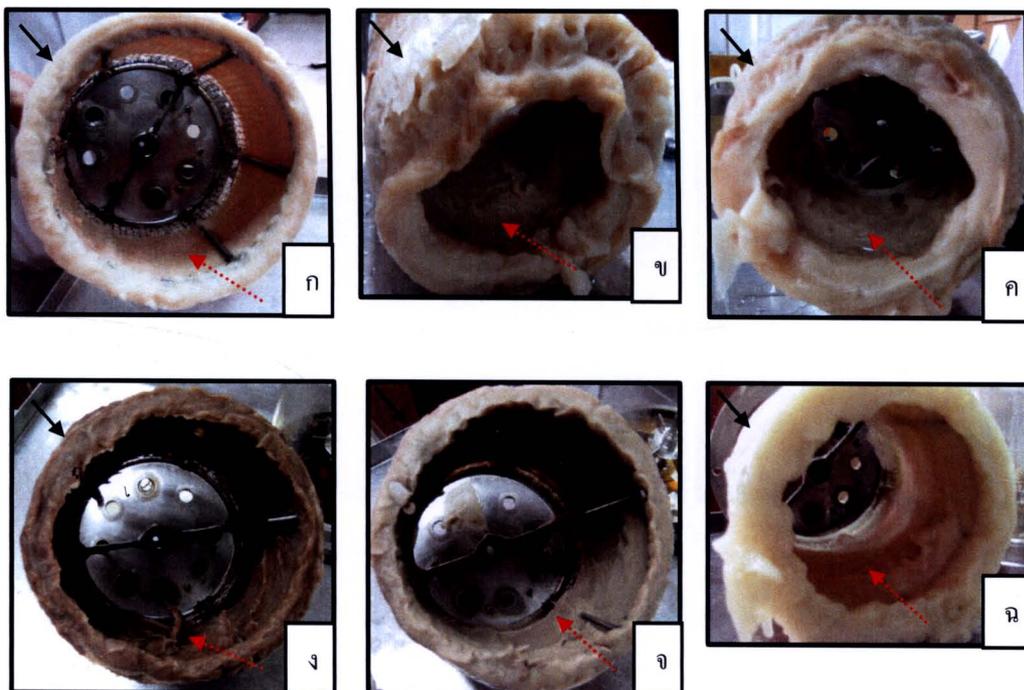
รูปที่ 7 yield ของกลูโคสภายหลังการย่อยกากมันที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการใช้ความร้อนสูง ภายใต้ความดันพร้อมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.5 N) ความเข้มข้นของกากมัน 6.7% จากนั้นนำมาทำการย่อยต่อด้วยเซลลูเลสที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วตามด้วยอะไมเลสที่ 100 องศาเซลเซียส



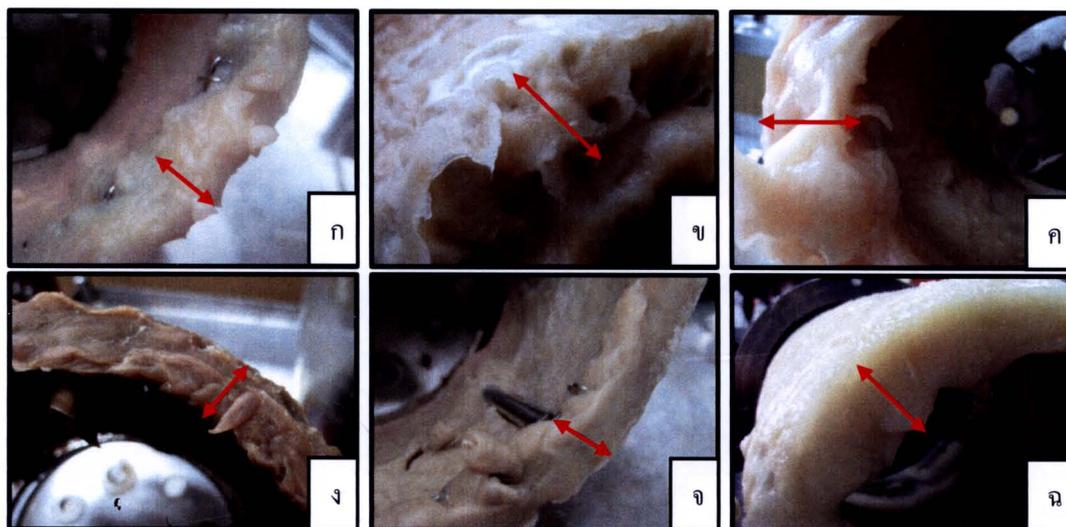
**รูปที่ 8** ลักษณะสัณฐานของ *R. oryzae* ที่ถูกตรึงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในระยะการเจริญเติบโตที่เวลาการหมัก 48 ชั่วโมง ของการใช้แหล่งคาร์บอน 6 ชนิด ได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนสูงภายใต้ความดัน พร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง



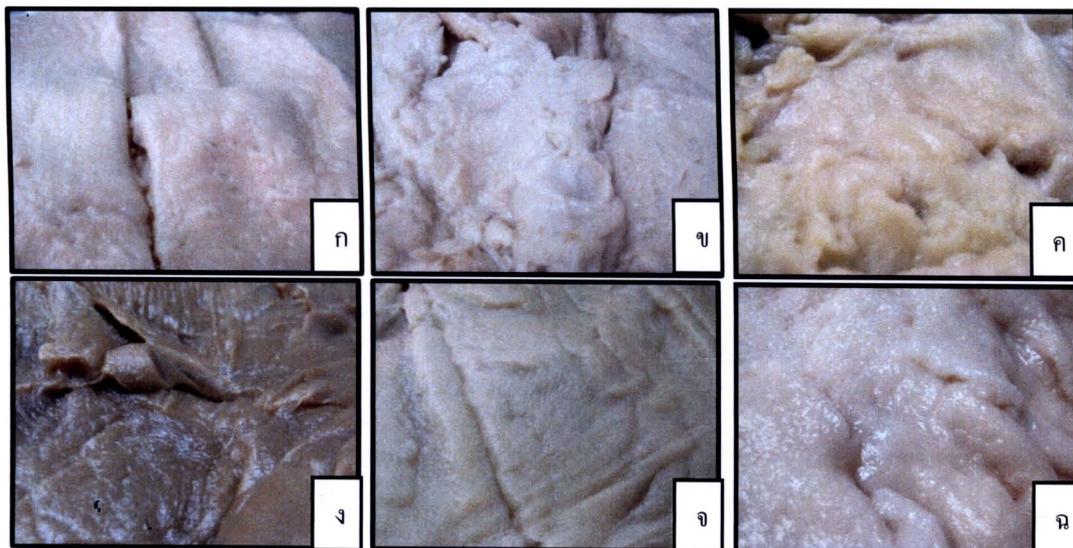
รูปที่ 9 ลักษณะสีฐานของ *R. oryzae* ที่ถูกตรึงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศต่อ ปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ในระยะการสร้างผลิตภัณฑ์ที่เวลาการหมัก 96 ชั่วโมง ของการใช้แหล่ง คาร์บอน 6 ชนิด ได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมัน สำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมัน สำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการ ย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยความร้อนสูงภายใต้ความดัน พร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง



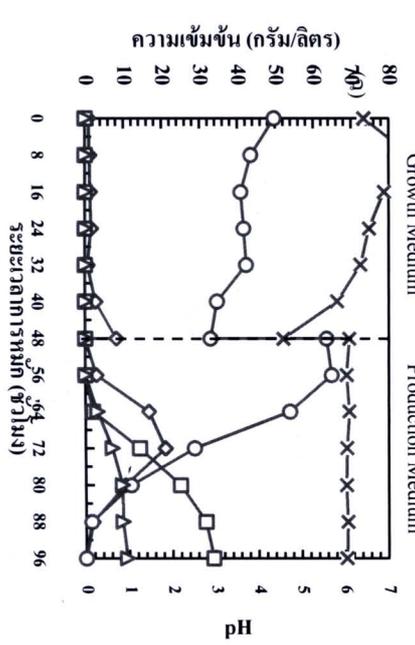
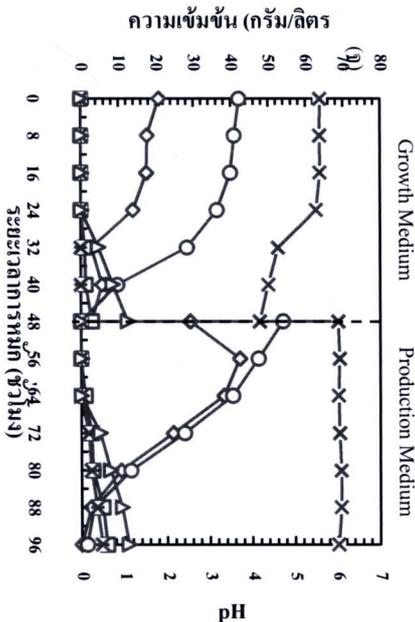
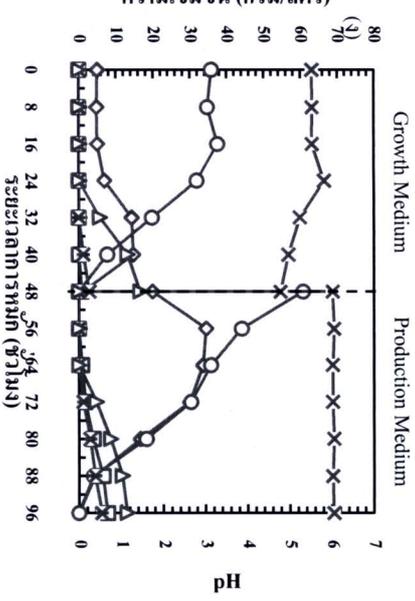
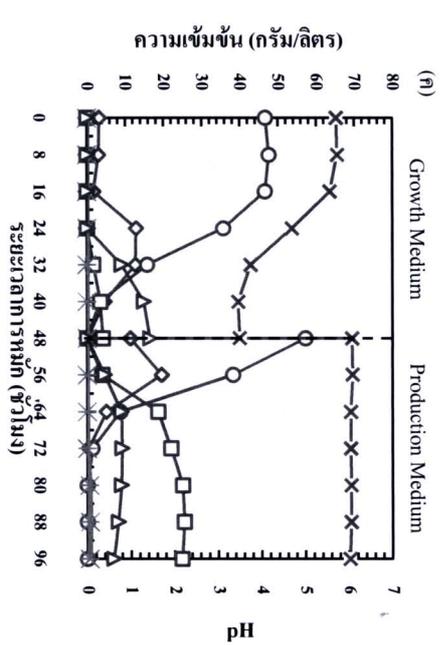
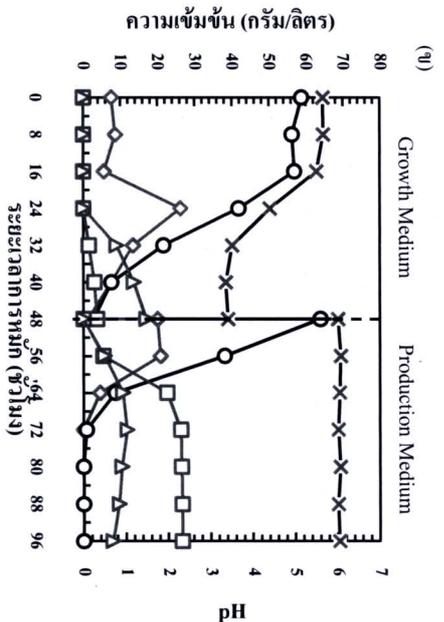
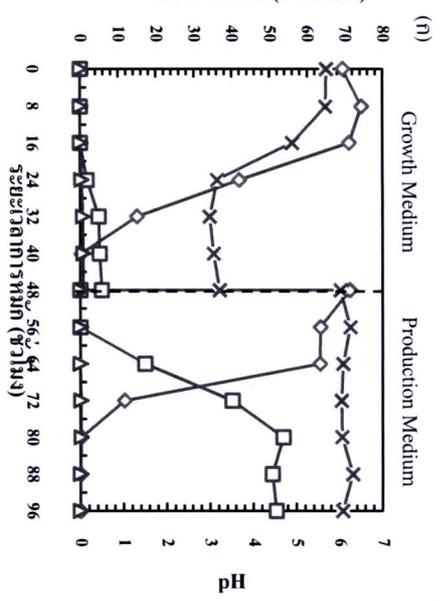
**รูปที่ 10** ลักษณะการยึดเกาะของเซลล์บนเบดสติด้านนอก (ลูกศรสีดำ) และด้านใน (ลูกศรสีแดง) ของถังปฏิกรณ์ชีวภาพ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ของการใช้แหล่งคาร์บอน 6 ชนิด ได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง



**รูปที่ 11** ความหนาของเซลล์ของ *R. oryzae* (เส้นสีแดง) ที่ถูกตรึงในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบดสติด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตร อากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ของการใช้แหล่งคาร์บอน 6 ชนิด ได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง

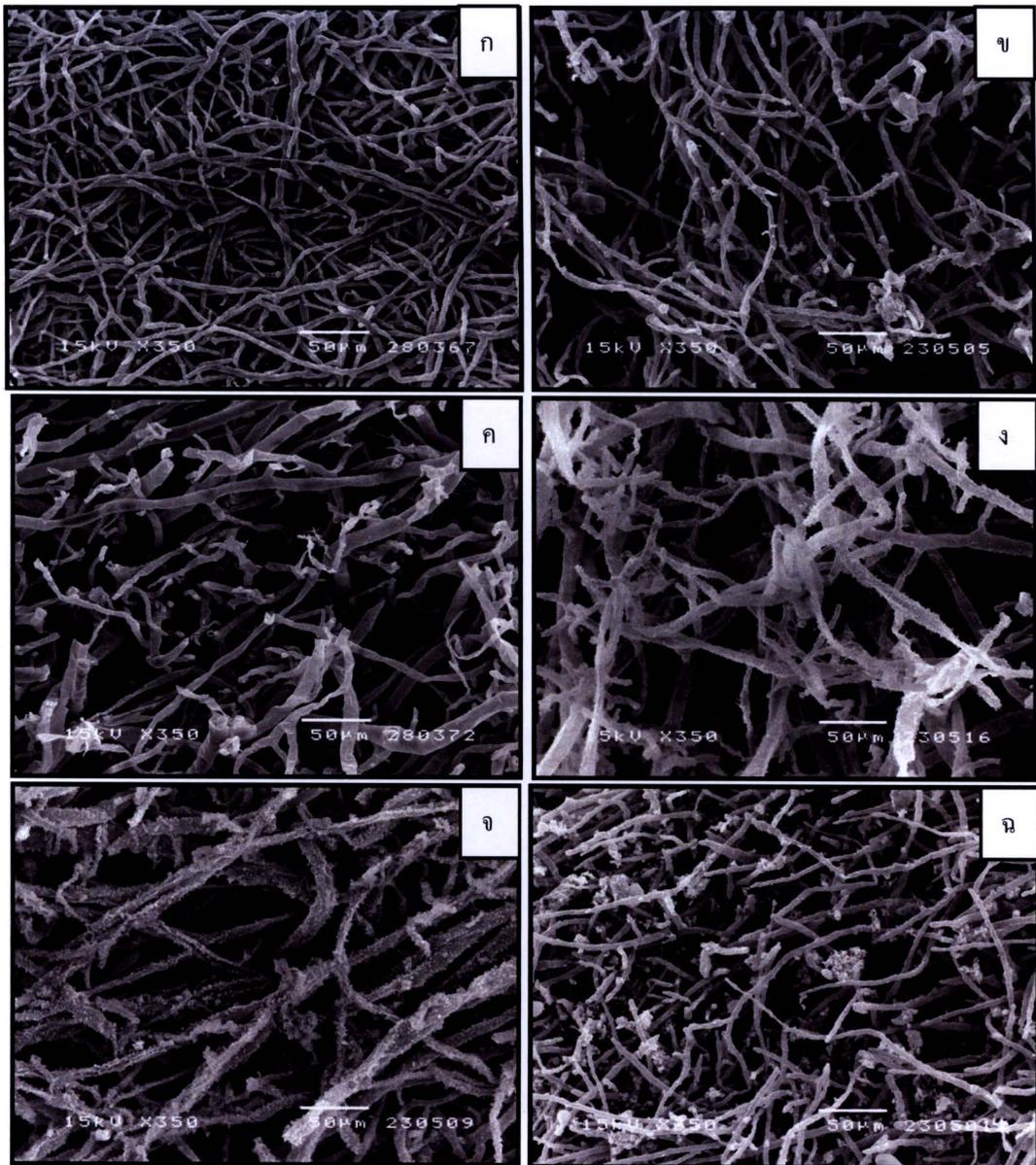


รูปที่ 12 ลักษณะเซลล์ *R. oryzae* ที่ตรึงอยู่ด้านในของเบคสติดในถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบเบคสติด อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตร อากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ของการใช้แหล่งคาร์บอน 6 ชนิด ได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง

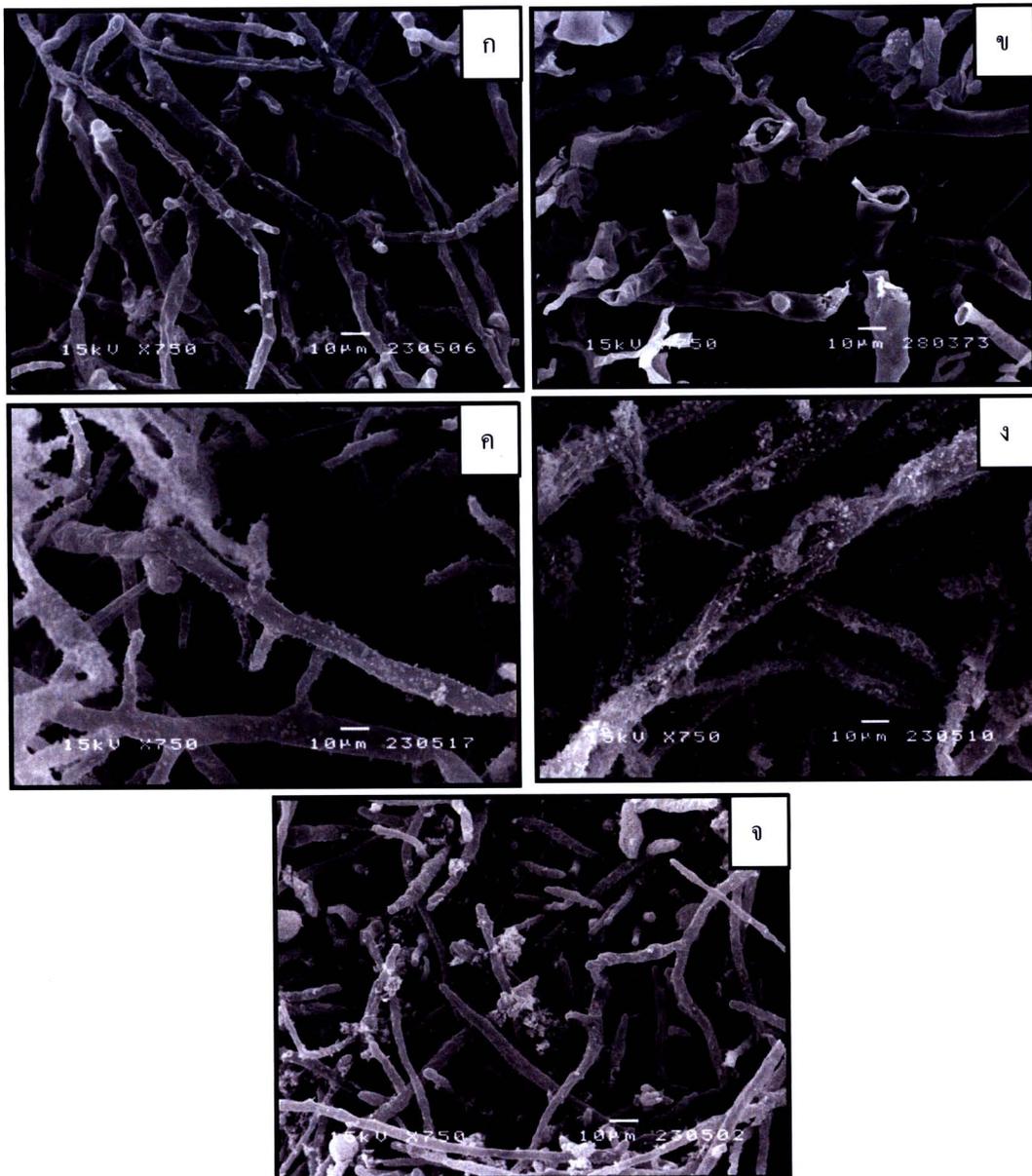


—●— กลูโคส    
 —○— น้ำตาลทั้งหมด    
 —□— กรดแลกติก    
 —△— เอทานอล    
 —\*— กรดฟัมริก    
 —x— pH

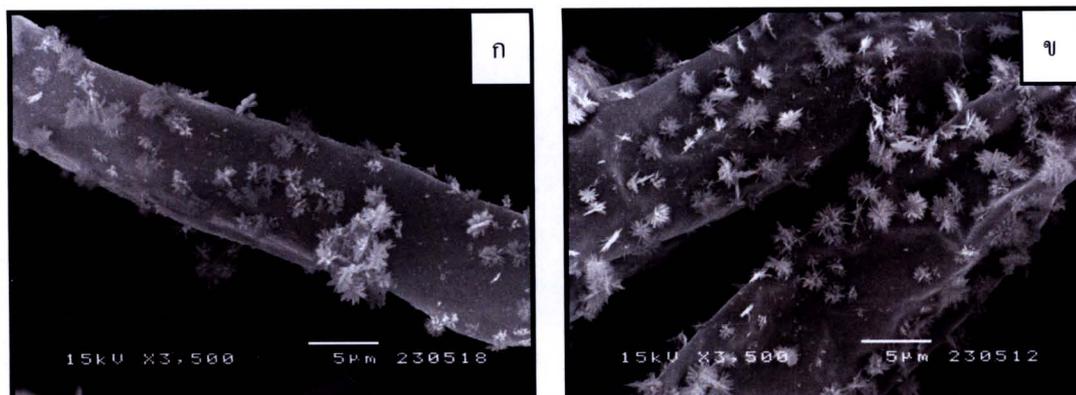
**รูปที่ 13** จลนพลศาสตร์ของกระบวนการหมักกรดแลกติกโดย *R. oryzae* อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 6.0 อัตราการกวน 700 รอบต่อนาที การให้อากาศ 0.5 ปริมาตรอากาศต่อปริมาตรน้ำหมักต่อนาที ของแหล่งคาร์บอน 6 ชนิดได้แก่ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์ (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแบบเป็น



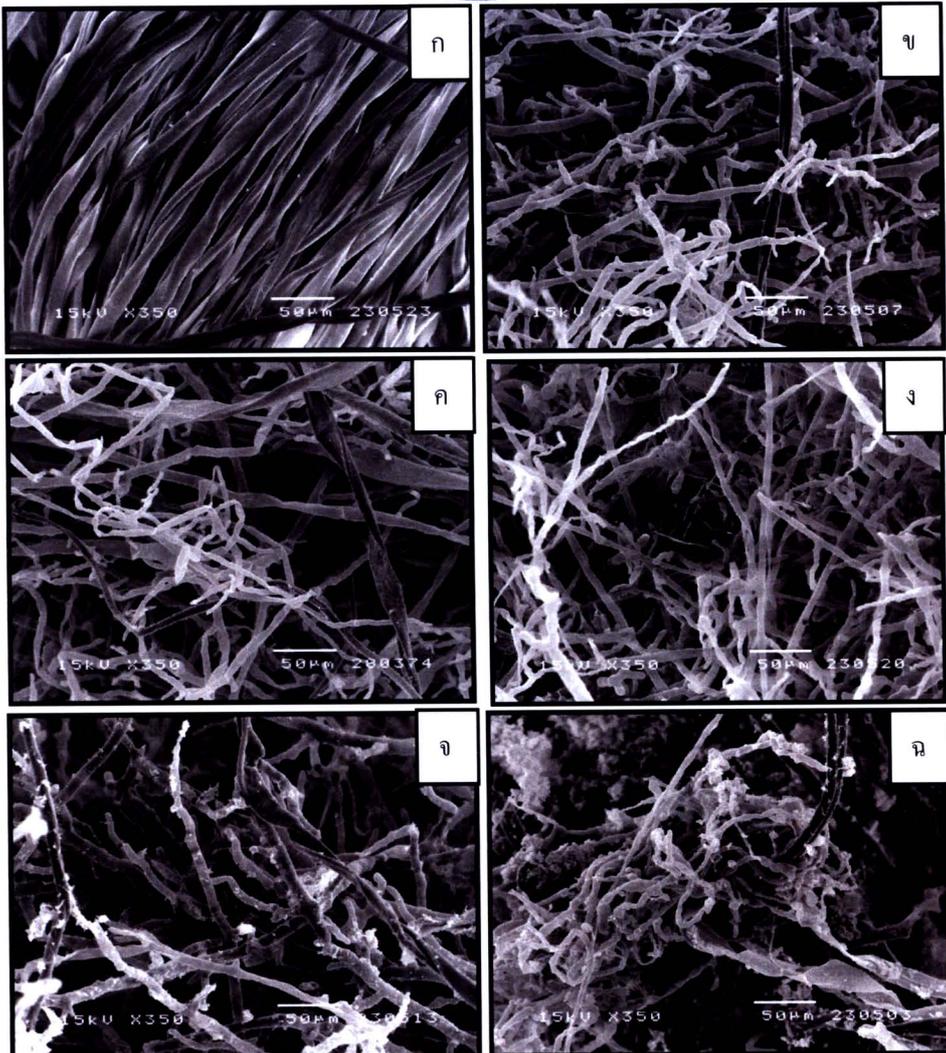
รูปที่ 14 ลักษณะของเซลล์ *R. oryzae* บริเวณด้านในของเบดสติดที่กำลังขยาย 350 เท่า โดยใช้ (ก) กลูโคส (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้งเป็นแหล่งคาร์บอนในการหมัก



รูปที่ 15 ลักษณะของเซลล์ *R. oryzae* บริเวณด้านในของเบดสติดที่กำลังขยาย 750 เท่า โดยใช้ (ก) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (จ) สารละลายแป้ง เป็นแหล่งคาร์บอนในการหมัก



รูปที่ 16 ลักษณะของเซลล์ *R. oryzae* บริเวณด้านในของเบดสติดที่กำลังขยาย 3,500 เท่า โดยใช้ (ก) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ และ (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด เป็นแหล่งคาร์บอนในการหมัก



**รูปที่ 17** ลักษณะโครงสร้างของ (ก) เส้นใยผ้าฝ้าย และลักษณะการยึดเกาะของเซลล์ *R. oryzae* บนเส้นใยผ้าฝ้ายชนิดผ้าขนหนูบริเวณด้านนอกของเบดสติกที่กำลังขยาย 350 เท่า โดยใช้ (ข) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (ค) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดัน (ง) สารละลายที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ของกากมันสำปะหลังที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการใช้ความร้อนสูงภายใต้ความดันพร้อมกับสารละลายแอลคาไลน์ (จ) สารละลายที่ได้จากการย่อยกากมันสำปะหลังด้วยกรด และ (ฉ) สารละลายแป้ง เป็นแหล่งคาร์บอนในการหมัก

