

รายการอ้างอิง



ภาษาไทย

- บัญชา ธนบุญสมบัติ. เอทานอลในแก๊สโซฮอล์ ผลิตมาจากไหน &ไว้ใจได้หรือ? [Online]
แหล่งที่มา : www.bankokbiznews.com/scitech/2003/0501/index.php?news=p15.html
[20 มกราคม 2547]
- ฝ่ายวิจัย ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน) .เอทานอล..พลังงานทดแทน ลดการพึ่งพาการ
นำเข้า[Online]. แหล่งที่มา : [www.krungsri.com/PDF/ECONOMY/ANALYSIS/
jan46_03.pdf](http://www.krungsri.com/PDF/ECONOMY/ANALYSIS/jan46_03.pdf) [20 มกราคม 2547]
- พิชิต เดชนีรนาท . เอทานอล แห่งพลังงานสะอาดของไทยในอนาคต[Online]. แหล่งที่มา :
www.sugarzone.in.th/article/article11.html [20 มกราคม 2547]
- มนตรี จุฬาวัดมนทล และคณะ. ชีวเคมี . ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,
2543.
- แม่น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เครื่องมือ. 2000 เล่ม.
พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, 2535.
- เศรษฐวิญ. ผลกระทบของ"เอทานอล"ต่อน้ำตาลในตลาดโลก [Online]. แหล่งที่มา:
www.sugarzone.in.th/article/article14.html . 2547[20 มกราคม 2547]
- สมชาย ไอสวรรณ. จลนพลศาสตร์วิศวกรรมเคมี. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ใจทอง, 2530.
- สมใจ ศิริโชค. เทคโนโลยีการหมัก. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2537.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเอทานอล
(มอก.640-2529). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ภาพพิมพ์, 2529.

ภาษาอังกฤษ

- Abate C., et al. Ethanol production by a mixed culture of flocculent strains of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces* sp. Applied Microbiology and Biotechnology. 45 (1996): 580-583.
- Berg C. World ethanol production and trade to 2000 and beyond [Online]. Available from: <http://www.distill.com/berg> [2004, Jan 5]
- Castellar R.M., et al. Effect of zeolite addition on ethanol production from glucose by *Saccharomyces bayanus*. Journal of Chemical technology and Biotechnology 73 (1998): 377-384.
- Dani M., and Kazuhisa O. A synthesis of bioreactor for the production of ethanol from CO₂. Energy. 22 (1997):353-356.
- Domingues Lucilia, Nelson Lima, and Jose A. Teixeira. Alcohol Production from Chees Whey Permeate Using Genetically Modified Flocculent Yeast Cells. Biotechnology and Bioengineering .72 (2001):507-514.
- Dummy. Production of ethanol from Guava pulp by yeast strains. Bioresource Technology. 60 (1997): 263-265.
- Ergum Mubeccel, and Mutlu S.Ferda. Application of a statistical technique to the production of ethanol from sugar beet molasses by *Saccharomyces cerevisiae*. Bioresource Technology. 73(2000):251-255.
- Eva P., et al. Design and operation of a bench-scale process development unit of the production of ethanol from lignocelluloses. Bioresource Technology .58 (1996): 171-179.
- Gallifuoco Alberto, Alfani Francesco, and Cantarella Maria. Advantages of Continuous Over Batch Reactors for the kinetic Analysis of Enzymes Inhibited by an Unknown Substrate Impurity. Biotechnology and Bioengineering.79 (2002): 641-646.
- Ghaly A.E. and El-taweel A.A. Effect of lactose concentration on batch production of ethanol from cheese whey using *candida psuedotropicalis*. Transaction of the ASAE. 38 (1995):113-1120.

- Glazer AN., and Nikaido H. From biomass to fuel In: Microbial Biotechnology
fundamental of applied microbiology.(freeman),New york.1995:325-391.
- Gough S., and A.P. McHale. Continuous ethanol production from molasses at 45 °C
using alginate-immobilized *Kluyveromyces marxianus* IMR3 in a continuous-flow
bioreactor. Bioprocess Engineering.19 (1998):33-36.
- Guinettea M., and Duvnjakb Z. Wood blocks as a carrier for *Saccharomyces cerevisiae*
In the production of ethanol and fructose. The Chemical Engineering Journal and
the Biochemical Engineering Journal. 61 (1996):233-240.
- Hamid R.S., and Seyed M.F. The use of biomass and stillage recycle in Conventional
ethanol fermentation. J. Chem Tech. Biotechnol. 67 (1996):362-366.
- Lark N. Production of ethanol from recycled paper sludge using cellulose and yeast
Kluyveromyces marxianus. Fuel and Energy Abstracts. 38 (1997):395-396.
- Laser Mark, et al. A comparison of liquid hot water and steam pretreatments of
sugar cane bagasses for bioconversion to ethanol. Bioresource Technology. 81
(2002): 33-44.
- Lee W.G., et al. Continuous ethanol production from concentrated wood hydrolysate in
an internal membrane-filtration bioreactor. Biotechnology Progress. 16 (2000):
302-304.
- Leite, Amarildo Ricardo, et al. Fermentation of sweet whey by recombinant *Escherichia
coli* KO11. Brazilian Journal of Microbiology. 31(2000).
- Lucilia D., et al. Continuous Ethanol fermentation of lactose by recombinant flocculating
Saccharomyces cerevisiae strain. Biotechnology and Bioengineering .64 (1999):
692-697.
- Miller,G.L. Use of Dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar.
Anal.Chem. 31(1959).

- Nilsson Anneli, Mohammad J. Taherzadeh, and Gunnar Liden. Use of dynamic step response for control of fed-batch conversion of lignocellulosic hydrolyzates to ethanol. Journal of Biotechnology.89 (2001):41-53
- Nigam, J.N. Ethanol production from wheat straw hemicellulose hydrolysate by *Pichia stipitis* .Journal of Biotechnology. 87(2001):17-27.
- OFD., Review of the research strategy for biomass-derived transportation fuel. Committee to review the R and D strategy for biomass-derived ethanol and biomass transportation fuel .National Academy, Washington DC. (1999):1-48.
- Ogbonna, James C.,Hiroaki Mashima and Hideo Tanaka. Scale up of fuel ethanol production from sugar beet juice using loofa sponge immobilized bioreactor. Bioresource Technology. 76(2001):1-8.
- Park B.G., et al. Long-term operation of continuous high cell density culture of *Saccharomyces cerevisiae* with membrane filtration and on-line cell concentration monitoring. Bioprocess Engineering.21 (1999):97-100.
- Rani K.S., Swamy M.V. and Seenayya G. Production of ethanol from various pure and natural cellulosic biomass by *Clostridium thermocellum* strains SS11 and SS22.Process Biochemistry. 33 (1998):435-440.
- Riordana C., et al.Production of ethanol from sucrose at 45 °C by alginate-immobilized preparations of the Thermo tolerant yeast strain *Kluyveromyces marxinus* IMB3. Bioresource Technology. 55 (1996):171-173.
- Roukasa, T., Ethanol production from non-sterilized beet molasses by free and immobilized *Saccharomyces cerevisiae* cell using fed-batch culture. Journal of food engineering. 27 (1996):87-96.
- S.C. Oliveira, et al. Continuous ethanol fermentation in a tower reactor with flocculating yeast recycle: scale up effects on process performance, kinetic parameters and model predictions. Bioprocess Engineering.20 (1999):525-530.

- S.C. Oliveira, et al. Scale-up effect kinetic parameters and model predictions of yeast recycle continuous ethanol fermentation model incorporating loss of cell viability. Bioprocess Engineering.23 (2000):51-55.
- Schell, Daniel J., et al. A Bioethanol process development unit: initial operating experiences and result with a corn fiber feedstock. Bioresource Technology. 91(2004):179-188.
- Sharma, Sanjeev K., Krishan L. Kalra and Harmeet S. Grewal. Fermentation of enzymatically saccharified sunflower stalks for ethanol production and its scale up. Bioresource Technology. 85 (2002):31-33.
- Siva K.S., Rakshita S.K. and Pandaa T. Production of ethanol by *Zymomonas mobilis*: The effect of batch step-feeding of glucose and relevant growth factor. Process Biochemistry. 1 (1995):41-47.
- Siva K.S., Rakshita S.K. and Pandaa T. Production of ethanol by immobilized whole cell of *Zymomonas mobilis* in an Expanded Bed bioreactor. Process Biochemistry. 31 (1996):449-456.
- Sree, N. Kiran, et al. Isolation of thermotolerant, osmotolerant, flocculating *Saccharomyces cerevisiae* for ethanol production. Bioresource Technology. 72(2000):43-46.
- Sreenath H.K. and Jeffries T.W. Production of ethanol from wood hydrolysate by yeast. Bioresource Technology. 72 (2000):253-260.
- Stanbury P.F. and Whitaker A. Principles of Fermentation Technology. Oxford.1984:10-13.
- Stenberg Kerstin, et al. Effect of Substrate and Cellulase Concentration on Simultaneous Saccharification and Fermentation of Steam-Pretreated Softwood for Ethanol Production. Biotechnology and Bioengineering. 68(2000):204-210

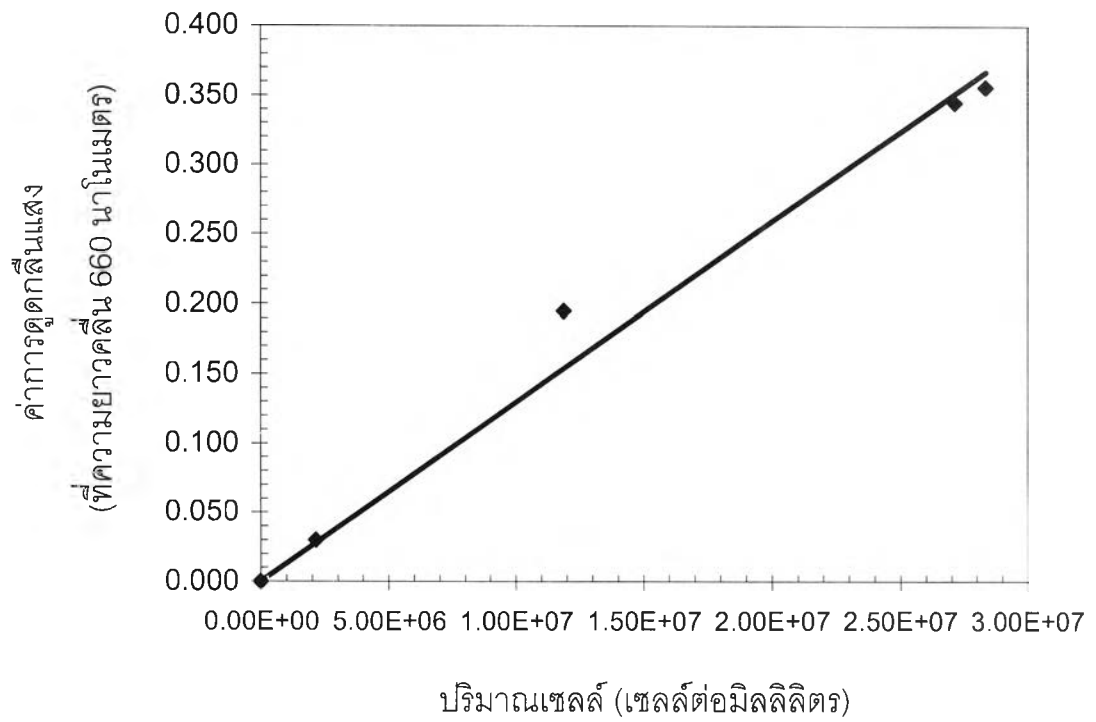
- Suresha K., Kiran S.N. and Venkateswer R.L. Utilization of damaged sorghum and rice for ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation. Bioresource Technology. 16 (2000):302-304.
- Szajani B., et al. Continuous production of ethanol using yeast cells immobilized in preformed cellulose beads. Applied Microbiology and Biotechnology. 46 (1996): 122-125.
- Takahashi M., Kono Y and Matsushita K. Production of ethanol by cultured insect cells. In vitro Cellular and Developmental Biology – animal. 3(1995): 203-217.
- Takamitsu lida, et al. Continuous ethanol fermentation in Molasses Medium Using *Zymomonas mobilis* Immobilized in Photo-Crosslinkable Resin Gel. Journal of Fermentation and Bioengineering .75(1996):32-35.
- Taylor F., et al. Effect of ethanol concentration and stripping temperature on continuous Fermentation rate. Appl Microbiol Biotechnol. 48(1997): 311-316.
- Wick M., and Lebeault J.M. Pressure measurement to evaluate ethanol or lactic acid production during glucose fermentation by yeast or heterofermentative bacteria I in pure and mixed culture. App Microbiol Biotechnol.56 (2001):687-692.
- Won C.L.and Cheng T.H. Enhancement of ethanol production from sucrose by *Zymomonas mobilis* by the addition of immobilized invertase. Enzyme and Microbiol Technology. 17 (1995):79-84.
- Wyman CE. Ethanol production from lignocellulosic biomass: overview Wyman (Eced) Handbook on bioethanol production and utilization. Washington DC.1996:1-18.
- Yu Zhisheng and Hongxun Zhang. Ethanol fermentation of acid-hydrolyzed cellulosic pyrolysate with *Saccharomyces cerevisiae*.Bioresource Technology. 90(2003): 95-100.

Zaldivar J., Nielsen J. and Olsson L. Fuel ethanol production from lignocelluloses a challenge for metabolic engineering and process integration. Applied Microbiology and Biotechnology. 56 (2001):17-34.

Zayed G. and Meyer O. The single batch bioconversion of wheat straw to ethanol employing the fungus *Trichoderma viride* and the yeast *Pachysolen tannophilus*. Applied Microbiology and Biotechnology. 45 (1996):551-555.

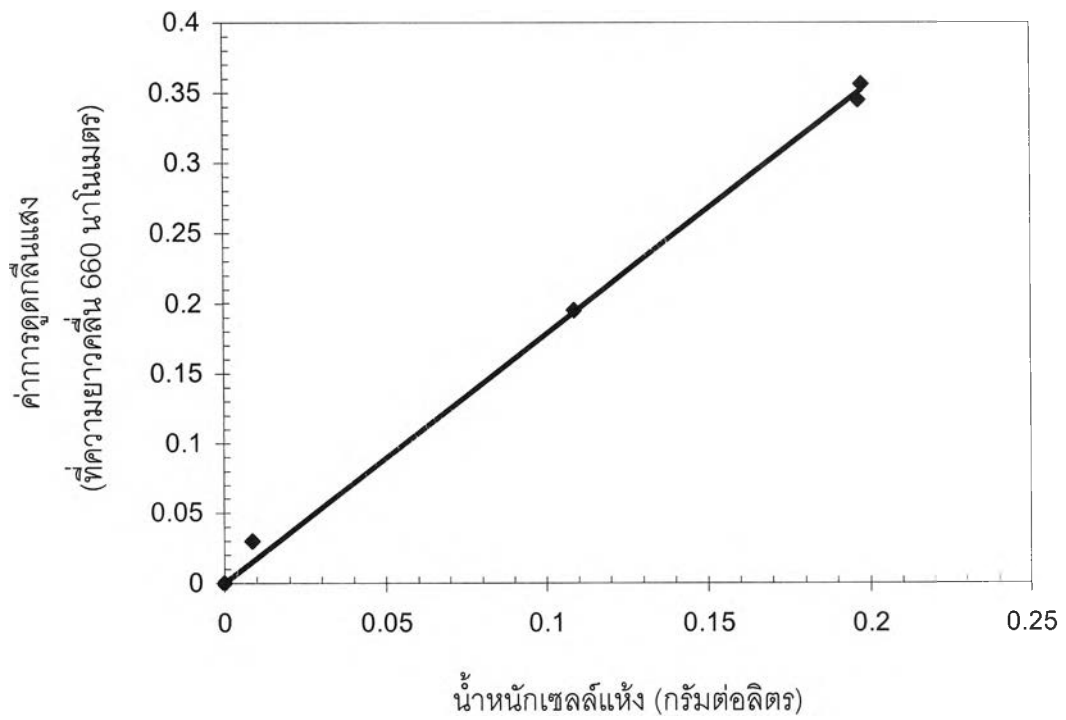
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
กราฟมาตรฐาน



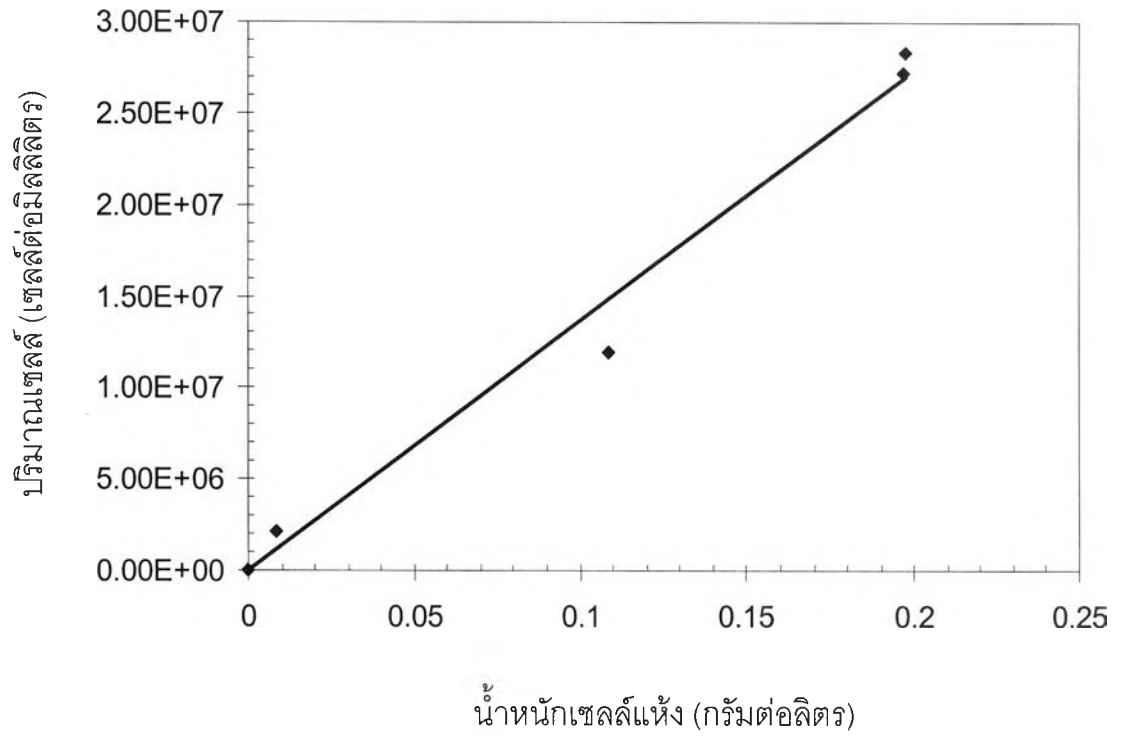
รูป ก1 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณเซลล์ (จากค่าการดูดกลืนแสง)

$$y = 1E-0.8X$$



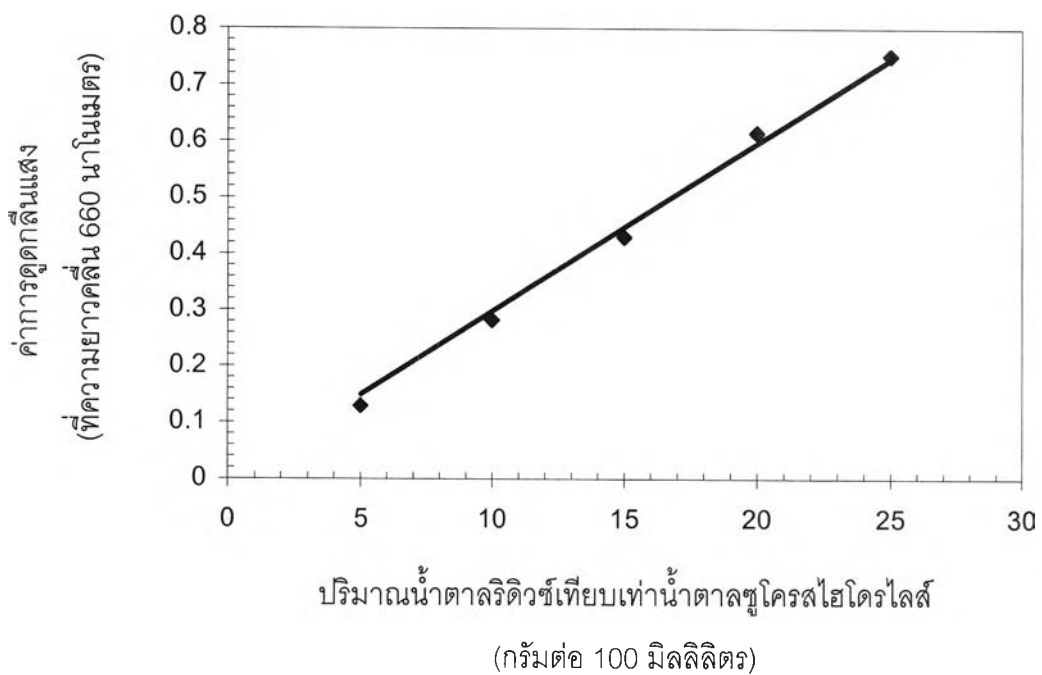
รูป ก2 กราฟมาตรฐานสำหรับหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (จากค่าการดูดกลืนแสง)

$$y = 1.7809X$$



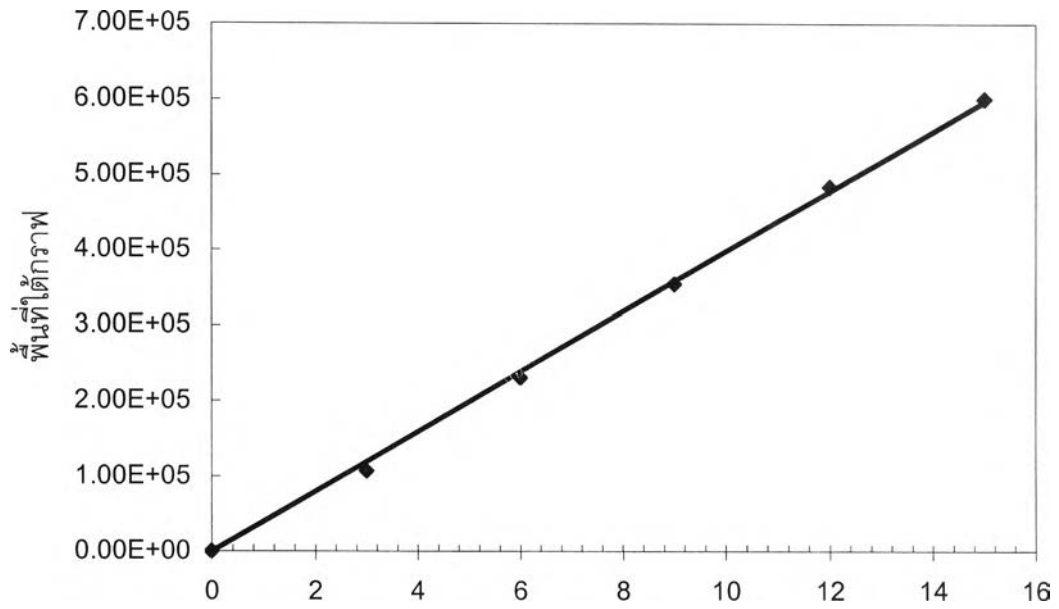
รูป ก3 กราฟมาตรฐานสำหรับหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (จากปริมาณเซลล์)

$$y = 1.3675E+08X$$



รูป ก4 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณน้ำตาลซูโครส

$$y = 0.0298X$$



ปริมาณเอทานอล (ร้อยละปริมาตรต่อปริมาตร)

รูป ก5 กราฟมาตรฐานสำหรับหาปริมาณเอทานอล

$$y = 39836X$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตามเวลาที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในขวดเชยารูปชมพู่ที่มีความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้น
ร้อยละ 3 – 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เวลา(ชั่วโมง)	ความเข้มข้น น้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)												
	3%	5%	8%	11%	13%	15%	17%	20%	21%	22%	23%	24%	25%
0	31.30	53.80	82.00	115.00	132.62	150.61	165.00	198.60	211.30	219.10	228.00	239.80	256.00
6	6.00	17.00	53.00	82.00	102.74	132.93	135.80	182.40	170.30	188.90	212.30	234.90	248.30
12	9.00	15.00	13.00	36.00	90.55	110.98	48.50	97.70	98.00	117.60	158.50	196.10	208.50
18	3.60	8.20	18.00	24.00	78.05	101.83	36.50	66.80	46.00	90.00	62.00	115.30	83.00
24	1.00	1.50	16.00	29.00	50.91	70.43	53.00	41.40	62.00	55.20	69.30	75.30	79.80
30	2.00	4.00	9.00	25.00	30.79	35.67	48.30	37.90	55.80	48.70	67.00	66.50	72.30
36	1.50	5.60	12.40	17.20	21.79	26.43	49.30	42.90	62.30	51.80	73.40	67.10	75.30
42	2.00	4.80	7.80	10.50	18.93	26.43	47.80	41.30	49.30	42.00	69.30	59.20	77.00
48	1.50	3.90	4.70	15.10	21.43	25.71	51.30	42.40	55.00	41.00	65.50	55.30	69.00
54	2.00	7.00	5.70	9.80	20.00	26.07	45.30	39.80	66.50	42.30	65.80	56.00	71.00
60	1.30	6.70	7.00	9.20	20.18	25.54	44.50	40.60	58.30	43.20	65.50	56.20	68.90
66	1.60	5.80	7.20	9.40	20.36	25.00	52.00	39.80	55.80	44.60	64.30	55.30	65.00
72	1.50	6.00	5.80	8.80	21.07	27.50	38.00	40.50	46.00	40.90	57.80	55.80	58.30

ตารางที่ ข2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเซลล์ตามเวลาที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในขวดเขย่ารูปชมพู่ที่มีความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวิตตั้งต้นร้อยละ 3 – 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เวลา (ชั่วโมง)	จำนวนเซลล์ (10E-6 เซลล์ต่อมิลลิตร)												
	3%	5%	8%	11%	13%	15%	17%	20%	21%	22%	23%	24%	25%
0	7	5	5	6	6	7	9	9	9	8	9	9	8
6	85	87	121	155	83	78	49	48	36	60	26	35	34
12	150	116	180	200	168	138	151	148	220	131	185	118	119
18	140	179	175	195	173	164	155	212	207	232	153	122	139
24	175	165	179	184	188	227	167	180	199	201	251	205	208
30	183	188	190	185	197	236	219	197	205	172	179	188	184
36	198	206	192	203	227	185	225	191	195	190	239	157	158
42	189	203	195	200	184	221	251	165	198	182	185	210	169
48	190	185	168	190	204	181	228	160	218	187	235	175	164
54	198	188	192	185	189	185	255	168	235	193	208	162	150
60	164	185	188	212	212	214	215	205	218	213	243	150	145
66	165	179	180	183	213	225	214	180	235	186	233	165	153
72	125	137	179	195	215	198	215	165	185	170	186	146	135

ตารางที่ ข3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเอทานอลตามเวลาที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในขวดเขย่ารูปชมพู่ที่มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตั้งต้นร้อยละ

3-25 โดยนำหน้าต่อปริมาตร

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอทานอล (กรัมต่อลิตร)												
	3%	5%	8%	11%	13%	15%	17%	20%	21%	22%	23%	24%	25%
0	1.18	1.42	2.92	3.55	4.05	4.40	4.03	1.18	4.90	4.11	3.87	2.68	4.11
6	4.34	7.97	7.97	11.69	13.91	13.06	20.69	3.16	15.71	9.48	12.16	13.34	13.58
12	6.79	11.92	15.95	24.56	29.72	23.05	41.22	21.16	41.61	29.69	28.66	21.48	27.00
18	6.87	10.34	17.53	25.98	35.62	37.54	43.35	26.21	56.85	58.75	45.64	50.77	42.01
24	6.40	9.63	20.61	32.53	44.81	37.88	49.27	67.27	56.69	66.25	63.56	69.25	75.72
30	6.16	14.61	20.37	29.37	42.93	43.60	57.09	69.33	64.51	79.51	72.96	84.01	77.62
36	7.34	14.53	22.11	30.64	37.95	47.66	57.48	70.59	59.22	76.04	71.93	85.83	90.73
42	5.61	11.77	23.61	36.48	42.42	45.24	52.03	68.85	70.83	74.22	81.25	80.62	87.96
48	6.08	10.50	22.50	31.35	40.32	46.95	54.48	63.48	63.25	79.91	76.12	83.70	77.93
54	13.11	12.48	21.79	31.27	35.65	44.01	48.48	70.12	64.35	72.25	68.77	87.41	90.57
60	12.71	11.53	18.40	30.87	36.97	43.79	48.88	68.06	69.96	75.49	78.09	81.96	75.49
66	11.13	15.00	16.90	30.32	35.58	42.60	52.11	67.43	67.67	78.64	76.51	81.41	79.83
72	11.61	15.24	18.08	28.58	36.00	42.02	56.69	67.83	68.77	75.96	80.78	76.67	77.46

ตารางที่ ข4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ , เอทานอล และน้ำหนักรีดิวซ์
แห้งตามเวลา ที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในถังหมักขนาด 7 ลิตร ครั้งที่ 1

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำหนักรีดิวซ์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	220	0.21	2.26
6	213	1.22	7.88
12	133	3.14	22.39
18	114	6.02	39.50
24	70	7.56	56.92
30	55	7.64	61.79
36	41	7.38	67.23
42	41	8.04	82.03
48	42	6.91	86.48
54	40	6.57	80.22
60	41	7.01	78.87
66	41	7.16	72.90
72	41	7.15	79.05

ตารางที่ ข5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ , เอทานอล และน้ำหนักรีดิวซ์
แห้งตามเวลา ที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องในถังหมักขนาด 7 ลิตร ครั้งที่ 2

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำหนักรีดิวซ์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นเอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	219.24	0.18	1.60
3	216.40	0.94	1.46
6	202.84	1.50	4.43
9	191.48	2.30	7.54
12	157.73	3.72	13.12
15	115.77	5.22	27.17
18	86.40	5.92	46.92
21	85.80	7.10	58.72
24	77.92	7.84	71.58
30	64.98	7.64	79.96
36	59.94	8.48	91.29
42	49.37	6.86	86.74
48	48.90	7.44	82.59
54	46.37	7.06	94.13
60	50.00	7.54	91.03
66	41.96	7.34	95.87
72	44.32	6.84	94.60

ตารางที่ ๖6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ อัตราการเปลี่ยนแปลง ความเข้มข้นของเอทานอล และความเข้มข้นของเอทานอลตามเวลาที่ได้จากการหมักแบบไม่ต่อเนื่องของ *S. cerevisiae* M30 โดยใช้กากน้ำตาล ใช้ความเข้มข้นน้ำตาล เริ่มต้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เวลา (ชั่วโมง)	10 เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ต่อเวลา(dx/dt) [กรัมต่อลิตร. ชั่วโมง]	อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอลต่อเวลา(dP/dt) [กรัมต่อลิตร. ชั่วโมง]	0.1 เท่าของความเข้มข้นเอทานอล [กรัมต่อลิตร]
0	0.00	0.00	0.00
1.5	0.73	1.02	0.15
4.5	2.20	0.47	0.29
7.5	2.27	1.01	0.60
10.5	3.70	1.45	1.03
13.5	4.87	3.27	2.01
16.5	3.67	5.63	3.70
19.5	3.13	5.26	5.28
22.5	3.20	4.11	6.51
27	0.60	2.36	7.58
33	0.53	1.64	8.51
39	0.60	0.56	8.85
45	-0.40	0.51	8.77
51	-0.25	0.62	9.14
57	-0.38	0.70	9.26
63	-0.60	0.15	9.34

ตารางที่ ๗7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์, เอทานอล และน้ำหนักรีดิวซ์แห้งตามเวลาที่ได้จากการหมักต่อเนื่องในถังหมักขนาด 7 ลิตร ชนิดหนึ่งขั้นตอน

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)	น้ำหนักรีดิวซ์แห้ง (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นเอทานอล (กรัมต่อลิตร)	หมายเหตุ
0	220.56	0.01	0.08	เริ่ม feed 1/38 hr
6	202.86	0.73	5.79	
12	154.33	4.71	37.18	
15	127.11	5.16	40.78	
18	123.99	5.70	45.02	
21	118.83	5.10	40.25	
24	92.49	4.98	39.36	
27	86.82	4.51	35.59	
30	78.63	4.51	35.59	
33	78.74	4.09	32.32	
36	76.82	4.12	32.54	(ชม.ที่ 38)
42	94.17	3.79	29.91	เริ่ม feed 1/25 hr
46	105.32	3.38	26.69	
50	108.97	2.94	23.20	
54	123.57	3.44	27.18	
58	131.60	3.16	24.96	
62	138.74	3.76	29.68	
66	139.26	3.89	30.70	
70	143.76	3.38	26.66	
74	138.84	3.39	26.79	
78	132.62	3.62	28.60	
84	128.67	3.36	26.55	
86	127.39	3.06	24.15	
94	124.75	3.79	29.95	
98	128.71	4.21	33.25	
102	127.29	3.78	29.84	
108	125.60	3.91	30.87	
120	127.39	3.89	30.72	

ตารางที่ ข8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตามเวลาที่ได้จากการหมักแบบ
ต่อเนื่องสองขั้นตอนและการหมักแบบต่อเนื่องชนิดสองขั้นตอนที่มีการเวียนกลับเซลล์

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ (กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	217.43	226.22			
5	211.49	222.77			
10	176.35	183.78			
15	107.43	156.42			feed medium
18	88.51	118.92			
24	77.70	74.85			
32	66.89	54.47			
42	73.65	50.39			
48	72.30	51.50			
56	91.89	51.87			
64	88.82	43.64			
72	91.37	46.97			เปลี่ยน ถึง feed
80	91.37	45.86			
88	75.40	51.04			
96	83.39	53.67			
102	83.71	52.40			
112	92.01	57.83			
120	83.71	61.33	62.84	57.20	recycle cell
128	104.66	64.86	62.84	70.27	
138	103.51	59.59	74.66	68.92	เปลี่ยน ถึง feed
147	96.08	67.70	80.07	77.70	
154	90.68	70.41	78.72	76.69	
165	114.12	80.88	80.07	86.15	
177	106.89	81.22	90.54	78.72	
191	103.20	82.23	91.57	89.67	เปลี่ยน ถึง feed
201	116.87	76.80	84.58	83.31	
213	101.92	74.26	86.17	76.63	
226	114.64	82.53	77.27	73.74	
240	104.93	76.17	84.26	76.95	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ๗9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเซลล์แห้งตามเวลา ที่ได้จากการหมักต่อเนื่องสองขั้นตอนและการหมักแบบต่อเนื่องชนิดสองขั้นตอนที่มีการเวียนกลับเซลล์

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง(กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	0.12	0.28			
5	3.32	3.38			
10	5.56	4.06			
15	6.66	6.58			feed medium
18	6.94	7.60			
24	6.36	7.80			
32	5.90	7.16			
42	5.96	8.04			
48	5.56	7.78			
56	6.70	7.08			
64	5.76	6.54			
72	5.28	6.58			เปลี่ยน ถึง feed
80	5.72	6.64			
88	6.60	7.96			
96	6.42	8.54			
102	7.98	8.42			
112	7.22	8.68			
120	8.12	7.84	7.84	7.92	recycle cell
128	8.06	5.84	5.26	6.60	
138	6.54	4.72	4.98	7.02	เปลี่ยน ถึง feed
147	6.56	4.48	4.12	7.10	
154	6.04	4.30	3.44	6.84	
165	6.18	4.44	3.14	7.06	
177	7.86	3.50	3.44	8.40	
191	8.06	3.42	3.34	6.70	เปลี่ยน ถึง feed
201	7.50	3.32	3.20	7.92	
213	7.92	3.00	2.12	7.16	
226	6.90	3.28	2.82	8.04	
240	7.94	3.50	2.54	7.96	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ข10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเอทานอลตามเวลาที่ได้จากการหมัก
ต่อเนื้องสองชั้นตอนและการหมักแบบต่อเนื่องชนิดสองชั้นตอนที่มีการเวียนกลับเซลล์

เวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นเอทานอล(กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	3.48	2.20			
5	8.30	3.81			
10	21.84	17.52			
15	38.23	28.23			feed medium
18	45.64	45.31			
24	52.04	60.98			
32	56.12	71.71			
42	54.66	77.27			
48	57.15	76.71			
56	53.30	76.42			
64	47.00	76.67			
72	49.53	82.80			เปลี่ยน ถึง feed
80	45.05	84.88			
88	46.11	78.24			
96	48.29	67.04			
102	47.62	73.79			
112	44.84	71.81			
120	43.70	70.73	72.54	73.73	recycle cell
128	41.98	65.35			
138	44.50	65.41			เปลี่ยน ถึง feed
147	47.28	64.50	66.20	62.80	
154	49.39	66.20			
165	48.09	63.71	66.22	61.19	
177	50.61	65.30			
191	47.63	59.58	67.06	59.98	เปลี่ยน ถึง feed
201	45.87	66.07			
213	43.99	59.22	62.47	65.60	
226	43.20	62.05			
240	46.52	62.26	62.44	59.11	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ข11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำตาลรีดิวซ์ตามเวลาที่ได้จากการหมัก
ต่อเนื่องชนิดหนึ่งขั้นต่อกับถังตกตะกอนเพื่อเวียนกลับเซลล์

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำตาล (กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	212.50	214.28			ตั้งทิ้ง 1.5 ชม. แล้ว ดึงส่วนใสออก 70 % แล้วเติมอาหารใหม่ เริ่ม feed
9	135.54	140.15			
18	78.57	77.55			
0	179.91	181.96			เริ่มrecycle Fr = 1/6 F
6	87.56	71.89			
12	51.57	57.20			
15	49.18	40.04	40.02	40.08	
24	47.98		34.96	38.04	
30	46.38		42.73	39.30	
38	47.58		36.25	40.13	
50	44.78		36.69	48.13	
58	49.98		40.14	37.21	
64	45.58		34.96	48.96	
72	49.58		36.69	51.00	
80	51.17		36.25	40.97	
86	60.37		37.12	38.46	
94	51.97		34.96	35.12	
102	61.17		34.10	43.90	
110	46.38		39.71	38.46	
122	53.57		47.47	34.28	
134	57.57		45.10	35.33	
146	61.57		42.73	36.37	
156	87.64		40.57	49.33	
162	82.94		44.02	36.79	
170	97.64		40.14	40.97	
182	87.43		45.75	44.31	
194	103.36		47.04	42.22	
206	98.05		44.45	53.51	
218	98.05		47.04	43.90	
230	91.11		40.14	53.93	
244	102.90		48.77	46.82	
256	95.40		51.14	51.21	
268	97.93		53.52	55.60	
280	101.73		61.29	63.54	
300	99.47		59.13	53.06	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ๑12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักเซลล์แห้งตามเวลาที่ได้จากการหมักต่อเนื่องชนิด
หนึ่งขั้นตอนต่อกับถังตกตะกอนเพื่อเวียนกลับ

เวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักเซลล์แห้ง(กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	0.66	0.70			
9	4.88	5.42			
18	8.72	8.80			
0	3.14	2.96			
6	6.84	8.30			
12	10.68	11.53			
15	12.02	12.08	11.98	12.03	
24	10.80		2.74	7.84	
30	10.34		2.78	8.42	
38	9.58		2.90	9.26	
50	9.14		2.04	12.40	
58	8.86		2.54	12.44	
64	9.66		1.96	11.82	
72	8.76		2.58	11.96	
80	9.10		3.00	11.72	
86	9.87		2.76	12.90	
94	9.34		2.26	12.30	
102	8.98		1.66	13.26	
110	9.66		2.10	12.98	
122	9.84		3.12	11.94	
134	9.47		2.04	12.37	
146	9.87		2.78	11.63	
156	9.46		2.84	12.48	
162	7.86		2.14	11.64	
170	8.06		2.44	11.82	
182	7.80		3.50	12.50	
194	8.12		3.50	12.56	
206	8.00		3.62	11.98	
218	8.66		2.26	11.26	
230	8.20		4.36	9.98	
244	7.86		3.06	10.52	
256	8.14		3.46	10.30	
268	7.94		1.92	9.14	
280	7.42		1.94	9.56	
300	7.53		2.92	9.16	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ข13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ตามเวลาที่ได้จากการหมักต่อเนื่อง
ชนิดหนึ่งขั้นตอนต่อกับถึงตกตะกอนเพื่อเวียนกลับเซลล์

เวลา (ชั่วโมง)	ปริมาณเอทานอล (กรัมต่อลิตร)				หมายเหตุ
	a	b	c	d	
0	2.26	2.18			ตั้งทิ้ง 1.5 ชม แล้ว ตั้งส่วนใสออก 70 % แล้วเติมอาหารใหม่ เริ่ม feed
9	24.09	18.97			
18	52.12	53.28			
0	11.96	3.09			เริ่ม recycle Fr = 1/6 F
6	57.46	56.29			
12	58.28	61.14			
15	56.32	68.69	70.75	69.41	
24	58.53		66.10	62.95	
30	51.71		63.47	66.35	
38	54.99		63.55	67.79	
50	55.93		67.09	69.44	
58	52.34		66.81	66.04	
64	58.83		63.63	65.95	
72	62.37		69.46	64.59	เปลี่ยน Fr = 1/3 F
80	61.65		68.39	65.15	
86	65.81		73.49	66.90	
94	63.66		72.62	74.17	
102	62.30		74.48	72.88	
110	63.78		69.02	72.94	
122	58.22		69.83	65.51	เปลี่ยน feed
134	48.64		71.84	66.22	เปลี่ยน feed
146	45.56		74.63	66.94	
156	47.68		73.70	63.77	
162	46.88		75.62	63.46	
170	44.21		79.66	65.95	
182	46.02		76.66	66.77	
194	44.40		79.26	64.77	เปลี่ยน feed
206	50.64		72.29	61.42	
218	43.86		68.33	60.09	
230	43.71		66.78	59.42	
244	42.53		67.17	60.78	
256	41.52		64.84	57.14	
268	40.52		62.50	53.51	เปลี่ยน feed
280	39.04		62.25	54.52	
300	38.88		61.51	54.35	

หมายเหตุ

(a) จุดกลางถังหมักที่ 1

(b) จุดกลางถังหมักที่ 2

(c) สายออก (ด้านบนถังหมักที่ 2)

(d) สายเวียนกลับ (ด้านล่างถังหมักที่ 2)

ตารางที่ ข14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ อัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอล และความเข้มข้นของเอทานอลตามเวลาที่ได้จากกานหมักแบบไม่ต่อเนื่องของ *S. cerevisiae* M30 โดยใช้กากน้ำตาล ใช้ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้นร้อยละ 22 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เวลา (ชั่วโมง)	10 เท่าของอัตราการเปลี่ยนแปลง ของเซลล์ต่อเวลา(dx/dt) [กรัมต่อลิตร. ชั่วโมง]	อัตราการเปลี่ยนแปลงของ เอทานอลต่อเวลา(dp/dt) [กรัมต่อลิตร. ชั่วโมง]	0.2 เท่าของปริมาณ เอทานอล (กรัมต่อลิตร)
0	0.00	0.00	0.00
1.5	0.73	1.02	0.15
4.5	2.20	0.47	0.29
7.5	2.27	1.01	0.60
10.5	3.70	1.45	1.03
13.5	4.87	3.27	2.01
16.5	3.67	5.63	3.70
19.5	3.13	5.26	5.28
22.5	3.20	4.11	6.51
27	0.60	2.36	7.58
33	0.53	1.64	8.51
39	0.60	0.56	8.85
45	-0.40	0.51	8.77
51	-0.25	0.62	9.14
57	-0.38	0.70	9.26
63	-0.60	0.15	9.34

ภาคผนวก ค
วิธีวิเคราะห์ต่างๆ

ภาคผนวก ค1 การวัดการเจริญของเชื้อ

ค1.1 วิธีวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้ง

1. ปิเปตสารตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง (ระวังอย่าให้มีตะกอนติดไปด้วย)
2. เติมกรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น 0.1 N 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอด แล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสทิ้ง
3. เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรเขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอดแล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง
4. เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอด แล้วนำไปเทใส่ภาด(สำหรับหาน้ำหนักแห้ง)ที่รูน้ำหนัก
5. นำไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส 30 ชั่วโมง แล้วนำมาทิ้งให้เย็นในภาชนะปิดสนิทที่มีสารกันความชื้น เช่น desiccators
6. นำภาดที่เย็นแล้วมาชั่ง แล้วจดน้ำหนักที่ได้
7. คำนวณหาน้ำหนักเซลล์แห้ง (DCW) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ไม่ได้มีการลงเชื้อเป็น blank

$$\begin{array}{rcccl} \text{น้ำหนักหลังอบ} & = & \text{น้ำหนักหลังอบ (ภาด + เซลล์)} & - & \text{น้ำหนักก่อนอบ (ภาด)} \\ \text{(กรัม)} & & \text{(กรัม)} & & \text{(กรัม)} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcccl} \text{น้ำหนักเซลล์แห้ง} & = & \text{น้ำหนักหลังอบของตัวอย่าง} & - & \text{น้ำหนักหลังอบของ Blank} \\ \text{(กรัมต่อ 5 มิลลิลิตร)} & & & & \end{array}$$

ค1.2 วิธีการวัดค่าความขุ่น

1. บีบเปิดสารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง
2. เติมกรดเกลือ (HCl) ความเข้มข้น 0.1 N 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอด นำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง
3. เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตรเขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอดแล้วนำไปปั่นแยกโดยเครื่องเหวี่ยงที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วเทส่วนใสทิ้ง
4. เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตร เขย่าให้เซลล์กระจายตัวให้ทั่วหลอด
5. ทำการเจือจางสารตัวอย่างที่ได้จากข้อ 5 แล้วนำไปวัดค่าการกระจายของแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer โดยใช้สารที่ตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเชื้อ เป็น blank
6. นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าน้ำหนักเซลล์แห้ง (จำนวนเซลล์) โดยเทียบกับกราฟมาตรฐาน

ค1.3 วิธีการนับจำนวนเซลล์

1. นำสารตัวอย่างที่ได้มาทำการเจือจางด้วยน้ำ RO ที่ 10, 20, 50, 100 เท่า ตามลำดับ
2. นำตัวอย่างที่ทำการเจือจางแล้วมาหยดบนแผ่น Hemacytometer ปริมาตร 1 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
3. นำไปนับเซลล์ผ่านกล้องจุลทรรศน์
4. นำผลที่ได้ไปคำนวณหาค่าจำนวนเซลล์ที่แท้จริง

ภาคผนวก ค2 วิธีวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar)

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ได้ประยุกต์วิธี Dinitrosalicylic Acid Method (DNS) ดังนี้

สารเคมี

เตรียม DNS reagent โดยละลาย 1.6 กรัม NaOH ในน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ค่อยๆเติม 3,5-dinitrosalicylic acid 1 กรัม ลงไปจนละลายหมดแล้วจึง เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร แล้วค่อยๆเติม sodium potassium tartrate 30 กรัม และปรับปริมาตร ให้ได้ 100 มิลลิลิตร (เก็บ DNS reagent ไว้ในขวดสีชา ตัง ทิ้งไว้ 2-3 คืนก่อนนำมาใช้)

การเตรียมกราฟของสารละลายน้ำตาลซูโครสมาตรฐาน (Standard curve)

1. อบ ซูโครส ที่ 100 -105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงแล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นใน Desiccators เพื่อใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานของน้ำตาลซูโครส (เตรียมโดยชั่ง ซูโครส 25 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร โดยใช้ volumetric flask) เตรียมหลอดทดลองให้มีสารละลายมาตรฐาน ซูโครส ที่ความเข้มข้นต่างๆดังนี้

หลอดที่	สารละลายน้ำตาลซูโครสมาตรฐาน(มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลซูโครส (กรัมต่อ 5 มิลลิลิตร)
1	0	5	0
2	1	4	5
3	2	3	10
4	3	2	15
5	4	1	20
6	5	0	25

2. นำสารละลายที่ได้จากข้อ (1) มา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
3. เติมน้ำกลั่น 0.8 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดผสมให้เข้ากัน
4. เติมกรด Conc. HCl 0.5 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดผสม ให้เข้ากันแล้ว

5. นำหลอดทั้งหมดไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้วย้ายมาตั้งไว้ในน้ำแข็งให้เย็น
6. เติมสารละลาย 20 % NaOH หลอดละ 0.5 มิลลิลิตร
7. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอดผสมให้เข้ากัน
8. นำสารละลายที่ได้จากข้อ (6) ไปปั่นแยกโดยใช้เครื่องเหวี่ยง(Centrifuge) ที่ ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที 10 นาที
9. ดูดส่วนใส ของสารที่ได้จากข้อ (7) ใส่ลงหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตรหลอดละ 0.2 มิลลิลิตร
10. เติม สารละลาย DNS 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด และผสมให้เข้ากัน
11. นำไปต้มใน Water bath 100 องศาเซลเซียส 5 นาทีพอดี แล้วทำให้เย็นโดยย้ายมาวางในน้ำแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยา
12. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่า Absorbance ที่ 520 nm โดยใช้หลอดที่ 1 เป็น blank
13. นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ แล้วหาค่า slope โดยแกน Y แทนค่า Absorbance ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร และ แกน X แทนค่า ปริมาณ ซูโครส

การวัดปริมาณน้ำตาลที่เหลืออยู่ในตัวอย่าง (Residual sugars concentration)

1. นำสารตัวอย่างที่ต้องการวัดปริมาณน้ำตาลมา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 25 มิลลิลิตร
2. ทำตามข้อ (3) ถึงข้อ (13) ในการเตรียม standard curve โดยใช้หลอดที่ 1 ของ standard curve เป็น blank เช่นเดียวกัน
3. นำค่า Absorbance ที่วัดได้มาคำนวณหาปริมาณ reducing sugar ดังนี้

$$\text{น้ำตาลรีดิวซ์ในสารตัวอย่าง (กรัมใน 100 มิลลิลิตร) = OD520 / slope}$$

ภาคผนวก ค3 การวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล

วิธีวิเคราะห์สารตัวอย่าง

1. นำสารตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มล.
2. เติมน้ำกลั่น 4.5 มล. ผสมให้เข้ากัน แล้วนำไปเข้าเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3000 รอบต่อนาที 10 นาที นำส่วนใสที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณเอทานอล โดยใช้เครื่อง CG

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจีรณ กิ่งแก้ว เกิดวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2517 ที่เขตตลิ่งชัน กรุงเทพมหานคร สำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2540 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2543