รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปราณี อ่านเปรื่อง. เอนไซม์ทางอาหาร (ตอนที่ 1). พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

มนตรี จุฬาวัฒนทล และคนอื่นๆ. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยมหิดล, 2530.

วิชัย ลีลาวัชรมาศ. การผลิตไซโลสจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยวิธีเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2530.

วัชรา อินทุลักษณ์. การผลิตเอทิลอัลกอฮอล์จากต้นข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

สุภาพ อัจฉริยศรีพงศ์, ประไพศรี สมใจ และธีรภัทร ศรีนรคุตร. การผลิตเอทานอลจากต้นข้าวฟ่างหวานในขั้นโรงงานต้นแบบ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (เอกสารไม่ตีพิมพ์), 2536.

สุภาพร ชาติวรพงศา. การผลิตเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาจุลชีวอุตสาหกรรม ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

ภาษาอังกฤษ

Bailey, J.E., and Ollis. Hydrolysis of Starch and Cellulose. In D.F.(eds.), Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd ed. New York : Mc Graw-Hill Book Co., 1986.

Brownell, H.H., and Saddler, J.N. Steam Pertreatment of Lignocellulosic Material for Enhanced Enzymatic Hydrolysis. Biotechnol. & Bioeng. 29 (1987) : 228-235.

Cadoche, L., and Gerardo, P.L. Assessment of Size Reduction as A Preliminary Step in the Production of Ethanol from Lignocellulosic Wastes. Biological Wastes 30 (1989) : 153-157.

Chang, M.M., Chou, T.Y.C., and Tsao, G.T. Structure, Pretreatment and Hydrolysis of Cellulose. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology 20 (1981) : 15-42.

Chaptin, M.F., and Kennedy, J.F. Carbohydrate Analysis and Analytical Approch, 1987.

Chimanage P., Kumano, M., Waki, T., Suga, K., and Ichikawa, K. Annual Report of International Center of Cooperative Research and Development in Microbial Engineering 1 (1978) : 305-317.

Cowling, E.B. Physical and Contraints in the Hydrolysis of Cellulose and Lignocellulosic Materials. Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 5 (1975) : 163-181.

Darvill, A. and et al. Cellulose. In P.K. Shumpf and E.E. Conn. (eds.), The Biochemistry of Plant , A Comprehensive Treatise Vol. 1, 1980.

David W., Hills, R.J. and Hills, D.J. Enzyme Pretreatment of Peach Solid Wastes Used for Ethanol Fermentation. Agricultural Wastes 12 (1985) : 173-184.

Dekker, R.F.H. and Wallis, A.F.A., CSIRO. Enzymatic Saccharification of Sugarcane Bagasse Pretreated by Autohydrolysis-Steam Explosion. Biotechnol. & Bioeng. 25 (1983) : 3027-3048.

Detroy, R.W., Lindenfelser, L.A., Sommer, S., and Orton, W.L. Bioconversion of Wheat Straw to Ethanol : Chemical Modification , Enzymatic Hydrolysis , and Fermentation . Biotechnol. & Bioeng. 23 (1981) : 1527-1535.

Detroy, R.W., Cunningham, R.L., Bothast, R.J., Bagby, M.O., and Herman, A. Bioconversion of Wheat Straw Cellulose/ Hemicellulose to Ethanol by *Saccharomyces uvarum* and *Pachysolen tannophilus*. Biotechnol.& Bioeng. 24 (1982) : 1105-1113.

Diwvedi, C.P. and Ghose, T.K. A Model on Hydrolysis of Bagasse Cellulose by Enzyme from *Trichoderma reesei* Q.M. 9414. J. Ferment. Technol. 57 No. 1 (1979) : 15-24.

Doneffer, E., Adelefe, I.O.A., and Jones, T.A.O.C. Effect of Urea Supplementation of the Nutritive Value of NaOH-Treated Oat Straw. Advan. Chem. Ser. 95 (1969) : 328-342.

Fox, D.J., Gray P.P., Dunn, N.W. and Narsden, W.L. Factors Affecting the Enzymatic Susceptibility of Alkali and Acid Pertreated Sugarcane Bagasse. J. Chem. Tech. and Biotechnol. 40 (1987) : 117-132.

Ghose, T.K. Cellulose Biosynthesis and Hydrolysis of Cellulosic Substances. Advancesin Biochemical Engineering / Biotechnology 6 (1977).

Grethlein, H.E. Pretreatment for Enhanced Hydrolysius of Cellulose Biomass. Biotech. Advs. 2 (1984) : 43-62.

Greulch, V.A. Plant Function and Structure. New York : Mc Millian, 1973.

Hamilton, T.J., Dale, B.E., Ladisch, M.R. and Tsao, G.T. Biotech. 26 (1984) : 781-787.

Han, Y.M., and Callihan, C.D. Cellulose Fermentation : Effect of Substrate Pretreatment on Microbial Growth. Applied Microbiology 27 No. 1 (1974) : 159-165.

Heuser, E. The Chemistry of Cellulose. 2nd ed. New York : John Wiley & Sons Inc., 1944.

Hogen, J.P. and Leche, T.F. Type of Fibrous Residues and Their Characteristics. The Utilization of Fibrous Agricultural Residues Australian Development Assistance Bureau Research for Development Seminar Five Australian Goverment Publishing Service, 1983.

Huang, A.A. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose to Sugar. Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 5 (1975) : 245-252.

Kelsey, R.G. and Shatizadeh, F. Enhancement of Cellulose Accessibility and Enzymatic Hydrolysis by Simultaneous Wet Mill. Biotechnol. & Bioeng. 22 (1980) : 1025-1036.

Kim, O.W., Yang, J.H. and Jeong Y.K. Adsorption of Cellulase from *Trichoderma viride* on Microcrystalline Cellulose. Appl. Microbiol. Biotechnol. 28 (1988) : 148-154.

Kirk, K.T. Degradation and Conversion of Lignocellulosic. In J.E., Smith, D.R., Berry and B., Kristiansen (eds.), The Filamentous Fungi, Vol. 4 . New York : Edward Arnold, 1983.

Krochta, J.M. and Hudsen, J.S. Alkaline Thermochemical Degradation of Rice Straw to Organic Acids. Agricultural Wastes 14 (1985) : 243-254.

Lee, S.B., Shin, H.S., and Ryu, D.D.Y. Adsorption of Cellulase on Cellulose : Effect of Physicochemical Properties of Cellulose on Adsorption and Rate of Hydrolysis. Biotechnol. & Bioeng. 25 (1982) : 2137-2153.

Lehninger, A.L. Biochemistry. 2nd ed., New York : Worth Publisher, 1975.

Mes-Hartree, M., Hogen, C., Hayer, R.D., and Saddler, J.N. Enzymatic Hydrolysis of Agricultural Residues by *Trichoderma* Cellulase and the Fermentation of the Liberated Sugar to Ethanol. Biotech. Letter. 5 No. 2 (1983) : 101-106.

Meyer, L.H. Carbohydrate. Food Chemistry. New York : Reinhold Publishing Corporation, 1961.

Millett, M.A., Baker, A.J. and Satter, L.D. Pretreatment to Enhance Chemical, Enzymatic, and Microbiological Attack of Cellulosic Materials. Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 5 (1975) : 193-219.

Nikitin, N.I. The Chemistry of Cellulose and Wood. Jerusalem : Israeled Program for Scientific Translation Ltd., 1966.

Nisizawa, K. Mode of the Action of Cellulase. J. Ferment. Technol. No. 51 (1973) : 267-304.

Nystrom, J. Discussion "Pretreatments to Enhance Enzymatic and Microbiological Attack of Cellulose Materials". Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 5 (1975) : 221-224.

Ott, E., and Spurlin, H.M. (eds.), Cellulose and Cellulose Derivatives. High Polymer Series, 2nd ed . Vol. 5 New York : Interscience Publishers, 1963.

Paquat, M., Thonard, P., Foucart, P., Desmonas, P. and Mollet. Anaerobic Digestion and Carbohydrate Hydrolysis of Waste. London : Elsevier Applied Science Publishers, 1984.

Parisi, F. Advances in Lignocellulosic Hydrolysis and in the Utilization of Hydrolysates. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology 38 (1989) : 53-87.

Paturau, J.M. Bagasse. By Production of the Cane Sugar Industry. 3rd ed. Great Britain : Elsevier Science Publisher Ltd., 1989.

Rabinovitch M.L., Nguyen Van Viet, Klyosov A.A. and Freitas R.P. Biotechnol. & Bioeng. 23 (1981).

Rowland, S.P. Selected Aspects of the Structure and Accessibility of Cellulose as their Relate to Hydrolysis. Biotechnol. & Bioeng. Symp. No. 5 (1975) : 183-191.

Saddler, J.N., Brownell, H.H., Clermont, L.P., and Levitin, N. Enzymatic Hydrolysis of Cellulose and Various Pretreated Wood Fractions. Biotechnol. & Bioeng. 214 (1982) : 1389-1402.

Selby, K., and Maitland, C.C. Biochem. J. 104 (1967) : 716-724.

Siu, R.G.H. and Reese, E.T. Bota.Rev. 19 (1953) : 377-416.

Technical Association of Pulp and Paper Industry. Test Method for Determination of Alpha- Beta- and Gamma - Cellulose in Pulp. Tappi 203 om-88, 1988.

____. Test Method for Determination of Moisture in Pulp. Tappi 210 cm-86, 1986.

____. Test Method for Determination of Ash in Pulp. Tappi 211 om-85, 1985.

____. Test Method for Determination of Adid-Insoluble Lignin in Pulp. Tappi 222 om-88, 1988.

Vallander, L., and Eriksson, K.E. Enzymatic Saccharification of Pretreated Wheat Straw. Biotechnol. & Bioeng. 27 (1985) : 650-659.

_____. Production of Ethanol from Lignocellulosic Material : State of The Art. Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology 42 (1990) : 63-95.

Woodward, J. Utilization of Cellulose as a Fermentation Substrate : Problems and Potential. In J.D. Stowell, A.J. Beardmore, C.W. Keevill and J.R. Woodward (eds.), Carbon Substrates in Biotechnology Vol. 21, IRL Press, Oxford, 1987.

Wright, J.D. Ethanol from Biomass by Enzymatic Hydrolysis. Chemical Engineering Progress 84 No. 8 (August 1988) : 62-74.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

(TAPPI 203 om-88)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 250 และ 1000 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
5. แท่งแก้วคน
6. กรวยกรอง
7. ขวดวัดค่าความถ่วงจำเพาะ (pycnometer)
8. กระจกนาฬิกาสำหรับปิด
9. เครื่องกวนสารและแท่งเหล็ก
10. กระดาษกรอง เบอร์ 41
11. นาฬิกาจับเวลา

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซนต์
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซนต์

วิธีเตรียม: นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 290 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์นาด 1000 มิลลิลิตรที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปรับความเข้มข้นให้ได้ 17.5 เปอร์เซนต์ด้วยการวัดและปรับค่าความถ่วงจำเพาะที่ 20 / 4 องศาเซลเซียส ให้มีค่าอยู่ในช่วง 1.192 $\pm$ 0.001

3. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เข้มข้น 0.5 นอร์มัล

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 24.52 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

4. สารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตมาตรฐานเข้มข้น 0.100 นอร์มัล

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 4.904 กรัมในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยขวดปรับปริมาตร

5. สารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้น 0.1 นอร์มัล

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)(SO_4) \cdot 6H_2O$) หนัก 40.5 กรัมในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นทำการหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนทุกครั้งที่ใช้ โดยนำไปไตเตรทกับสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตมาตรฐาน

<u>วิธีหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน</u>: ปิเปตสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตมาตรฐานปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ค่อยๆเทกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 12 มิลลิลิตรลงไปในขวด โดยเอียงขวดทำมุมประมาณ 45 องศากับพื้น ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น หยดอินดิเคเตอร์ 2 ถึง 4 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ต้องการทราบความเข้มข้นที่แน่นอน

<u>วิธีการคำนวณ</u>:

$$N_2V_2 = N_1V_1$$

เมื่อ N_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต, นอร์มัล

N_2 = ความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต, นอร์มัล

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต, มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต, มิลลิลิตร

6. สารละลายอินดิเคเตอร์ (indicator)

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลาย 1,10-ฟีนานโธรลีนโมโนไฮเดรท ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) หนัก 1.5 กรัม กับเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot H_2O$) 0.7 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ในการไตเตรท

7. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 98 เปอร์เซนต์ (ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.84)

8. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 นอร์มัล

<u>วิธีเตรียม</u>: ค่อยๆเทกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 83.5 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น บรรจุอยู่ ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ชั่งฟาง (ตะกอนฟาง) หนัก 1.5 กรัมน้ำหนักแห้ง ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร บันทึกน้ำหนักฟางไว้ เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซนต์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา จับเวลาทันทีที่เติมสารละลาย นำไปกวนบนเครื่องกวนสารเป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตรหลังครบเวลากวนให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

2. กรองสารละลายเพื่อแยกตะกอนฟางออกโดยทิ้งสารละลายใส 10 มิลลิลิตรแรกของการกรอง เก็บสารละลายใสเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

3. การวิเคราะห์ปริมาณ แอลฟา-เซลลูโลส (เซลลูโลส)

3.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2. ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตเข้มข้น 0.5 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

3.2 ค่อยๆเทกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 30 มิลลิลิตรลงไป โดยเอียงขวดทำมุมประมาณ 45 องศากับพื้นเพื่อป้องกันการเดือดอย่างรุนแรงของสารละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

3.3 หยดอินดิเคเตอร์ 2 ถึง 4 หยด นำไปไตเตรทกับสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอมส้มเป็นสีน้ำตาลอมม่วง บันทึกปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

3.4 เตรียมสารละลายแบลงค์ (blank)โดยปิเปตโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5 เปอร์เซนต์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปทำวิธีการเดียวกับสารละลายตัวอย่างในข้อ 3.1 ถึง 3.3

3.5 การคำนวณ

$$\text{แอลฟา-เซลลูโลส (\%)} = 100 - [6.85\ (V_2 - V_1) \times N \times 20 / A \times W)]$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลายตัวอย่าง, มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลายแบลงค์, มิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต, นอร์มัล

A = ปริมาตรสารละลายตัวอย่างที่ใช้, มิลลิลิตร

W = น้ำหนักฟางแห้ง, กรัม

6.85 = มิลลิกรัมสมมูลของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับเซลลูโลส

4. การวิเคราะห์ปริมาณ แกมม่า-เซลลูโลส

4.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 2. ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกตวงที่มีจุกปิด เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 นอร์มัล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ถึง 3 นาที เพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ กรองสารละลายโดยเก็บส่วนใสไว้วิเคราะห์

4.2 นำสารละลายใสที่กรองได้ไปวิเคราะห์วิธีการเดียวกับข้อ 3.1 ถึง 3.3

4.3 การคำนวณ

แกมม่า-เซลลูโลส = [6.85 (V_4-V_3) x N x 20 / A x W)]

เมื่อ V_3 = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลายตัวอย่าง, มิลลิลิตร

V_4 = ปริมาตรสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทกับสารละลายแบลงค์, มิลลิลิตร

5. การวิเคราะห์ปริมาณ เบต้า-เซลลูโลส (เฮมิเซลลูโลส)

การคำนวณ

เบต้า-เซลลูโลส = 100 - (แอลฟา-เซลลูโลส + แกมม่า-เซลลูโลส)

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน

(TAPPI 222 om-88)

อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ขนาด 100 และ 1000 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 2000 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคน
4. กระจกนาฬิกาสำหรับปิด
5. เครื่องกวนสารและแท่งเหล็ก
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 $\pm$ 3 องศาเซลเซียส
8. กระดาษกรอง เบอร์ 42
9. เดสิเคเดอร์ (dessicator)
10. กระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98 เปอร์เซนต์(ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.84)
2. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72 เปอร์เซนต์ (24 $\pm$ 0.1 นอร์มัล)

วิธีเตรียม: ค่อยๆเทกรดซัลฟูริกเข้มข้น 98 เปอร์เซนต์ปริมาตร 665 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปรับค่าความเข้มข้นโดยนำไปวัดและปรับค่าความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 20 / 4 องศาเซลเซียสให้ได้เท่ากับ 1.6338 $\pm$ 0.0012

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งฟาง (ตะกอนฟาง) หนักประมาณ 2.0 กรัมน้ำหนักแห้ง ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตรโดยบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72 เปอร์เซนต์ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา นำไปกวนบนเครื่องกวนสาร ที่อุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. เทสารละลายจากข้อ 1. ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 2000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ปริมาตร 300 มิลลิลิตร ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่น และปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1540 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

3. นำสารละลายไปรีฟลักซ์ (reflux) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งทิ้งให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ (ทิ้งไว้ค้างคืน)

4. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง นำตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส (ประมาณ 1 ชั่วโมง) ทำให้เย็นลงในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักตะกอนบันทึกค่าไว้

5. การคำนวณ

ปริมาณลิกนิน (%) = (น้ำหนักตะกอนแห้ง / น้ำหนักฟางแห้ง) x 100

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าในฟางข้าว

(TAPPI 211 om-85)

อุปกรณ์

1. ถ้วยเผา (crucible)
2. เตาเผา อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส
3. เครื่องชั่ง
4. เดสิเคเตอร์
5. ตะเกียงบุนเสน (bunsen)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำถ้วยเผาและฝาปิดไปอบให้แห้ง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำออกมาตั้งทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในเดสิเคเตอร์ นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักถ้วยเปล่า

2. ชั่งฟาง (ตะกอนฟาง) หนักประมาณ 1 กรัมน้ำหนักแห้งใส่ลงในถ้วยเผา บันทึกน้ำหนักไว้ นำไปเผาด้วยเปลวไฟโดยตรงจนกระทั่งหมดควัน แล้วนำไปเผาต่อในตู้เผาที่อุณหภูมิ 575 ± 25 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว

3. นำถ้วยเผาและเถ้าออกมาและทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในเดสิเคเตอร์ นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเถ้า

4. การคำนวณ

ปริมารเถ้า (%) = (น้ำหนักเถ้า / น้ำหนักฟางแห้ง) x 100

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

(TAPPI 210 cm-86)

อุปกรณ์

1. ถ้วยหาความชื้น (moisture dish)
2. เดสิเคเตอร์
3. เครื่องชั่ง
4. ตู้อบอุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส

วิธีวิเคราะห์

1. นำถ้วยหาความชื้นไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 + 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำออกมาตั้งทิ้งให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในเดสิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าและบันทึกน้ำหนักไว้

2. ชั่งฟาง (ตะกอนฟาง) หนักประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในถ้วยหาความชื้นที่อบและทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักฟางไว้ เกลี่ยให้ฟางแผ่ออกและมีความหนาสม่ำเสมอ นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

3. นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นในเดสิเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักฟางหลังอบแห้ง

4. การคำนวณ

ปริมาณความชื้น (%) = [(W - A) / W] x 100

เมื่อ A = น้ำหนักฟางหลังอบแห้ง, กรัม

W = น้ำหนักฟางก่อนอบแห้ง, กรัม

ภาคผนวก จ

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

(M.F. Chaplin, J.F. Kennedy, 1987)

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยสารละลายกรดไดโนโตรสาลิไซลิก ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในช่วง 5 ถึง 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรของสารละลาย

อุปกรณ์

1. เครื่องดูดกลืนแสง ที่ค่าความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร
2. หลอดวัดค่าการดูดกลืนแสง
3. เครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
4. ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร
5. แท่งแก้วคน
6. ปิเปตขนาด 1 และ 5 มิลลิลิตร
7. หลอดทดลองขนาดกลางชนิดที่มีฝาปิด
8. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. กรดไดไนโตรสาลิไซลิก (3,5-dinitrosalicylic acid)
2. โซเดียมโพแทสเซียมดาร์เตรท (sodium potassium tartrate)
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์

วิธีเตรียม: ละลายเกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 80 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

5. สารละลายกรดไดไนโตรสาลิไซลิก

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลายกรดไดไนโตรสาลิไซลิก 0.25 กรัม กับ โซเดียมโพแทสเซียมตาร์เตรทหนัก 75 กรัม ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายไว้ในขวดสีชา และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ถึง 2 สัปดาห์ก่อนนำมาใช้

6. น้ำตาลกลูโคสบริสุทธิ์

7. สารละลายน้ำตาลกลูโคสมาตรฐาน ที่ค่าความเข้มข้นระหว่าง 50 ถึง 500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

<u>วิธีเตรียม</u>: ละลายน้ำตาลกลูโคสหนัก 10 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร เก็บไว้เป็นสารละลายเริ่มต้น (stock solution) เจือจางให้ได้ความเข้มข้นในช่วงที่ต้องการดังตาราง

ความเข้มข้นของน้ำตาล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำตาลเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
50	5	95
60	6	94
70	7	93
80	8	92
90	9	91
100	10	90
110	11	89
120	12	88
130	13	87
140	14	86
150	15	85

ความเข้มข้นของน้ำตาล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำตาลเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
160	16	84
170	17	83
180	18	82
190	19	81
200	20	80
210	21	79
220	22	78
230	23	77
240	24	76
250	25	75
260	26	74
270	27	73
280	28	72
290	29	71
300	30	70
310	31	69
320	32	68
330	33	67
340	34	66
350	35	65
360	36	64
370	37	63
380	38	62

ความเข้มข้นของน้ำตาล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำตาลเริ่มต้น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรน้ำกลั่น (มิลลิลิตร)
390	39	61
400	40	60
410	41	59
420	42	58
430	43	57
440	44	56
450	45	55
460	46	54
470	47	53
480	48	52
490	49	51
500	50	50

2. การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

2.1 ปิเปตสารละลายตัวอย่าง, สารละลายกลูโคสมาตรฐาน และ สารละลายน้ำตาลที่เป็นสารละลายควบคุม (100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง ปิเปตสารละลายกรดไดไนโตรสาลิไซลิกปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในหลอด ปิดฝาหลอด ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในเครื่องอังน้ำอุ่น เป็นเวลา 10 นาที ทำให้เย็นลงทันที

2.2 นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร บันทึกค่าการดูดกลืนแสงโดยเทียบค่ากับสารละลายแบลงค์ นำไปอ่านค่าความเข้มข้นของน้ำตาลบนกราฟของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน (standard curve)

หมายเหตุ: 1. ในการวิเคราะห์ใช้น้ำกลั่นปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เป็นสาระลายแบลงค์ โดยใช้วิธีวิเคราะห์เช่นเดียวกับ สารละลายตัวอย่าง และสารละลายน้ำตาลมาตรฐาน

2. ถ้าสารละลายตัวอย่างน้ำตาลมีค่าความเข้มข้นเกินกว่าช่วงที่กำหนดให้เจือจางสารละลายน้ำตาลลงแล้วคูณกลับเป็นค่าความเข้มข้นที่ถูกต้อง ด้วยค่าคงที่ของการเจือจาง

3. ทุกครั้งที่ทำการวิเคราะห์ให้ใช้สารละลายกลูโคสเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นสารละลายควบคุม เพื่อเปรียบเทียบค่ากับกราฟของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ภาคผนวก ฉ

การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์

(Chimanage et.al., 1978)

ฉ.1 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์

การหาค่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ ในหน่วยกระดาษกรอง (Filter Paper Unit, FPU) ทำได้ดังต่อไปนี้

อุปกรณ์

1. กระดาษกรอง เบอร์ 1 ขนาด 1 x 6 เซนติเมตร (50 มิลลิกรัม)
2. หลอดทดลองขนาดกลาง ชนิดที่มีฝาปิด
3. เครื่องอังน้ำอุ่น ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
5. นาฬิกาจับเวลา

สารเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ , ที่มีค่า pH เท่ากับ 5.0 (ภาคผนวก ญ)
2. สารละลายกรดไดไนโตรซาลิไซลิก (ภาคผนวก จ)

วิธีวิเคราะห์

1. นำกระดาษกรอง เบอร์ 1 ขนาดตามที่กำหนด มาตัดให้มีขนาดเล็กเท่าๆกัน ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลาง

2. ปิเปตเอนไซม์ ที่จะทำการวิเคราะห์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง ปิดฝา เขย่าให้สารละลายเปียกและท่วมกระดาษกรองตลอดเวลา นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าหลอดเป็นครั้งคราว

3. เมื่อครบเวลา หยุดปฏิกิริยาด้วยการนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที แยกตะกอนออกโดยเครื่องปั่นเหวี่ยง นำส่วนใสไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล ตามวิธีในภาคผนวก จ.

หมายเหตุ : 1 หน่วยของค่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ หมายถึงปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการผลิตน้ำตาลรีดิวซ์ 1 มิลลิกรัม ในเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่กำหนด

ฉ.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์

ครั้งที่	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	FPU ต่อมิลลิลิตรของเอนไซม์
1	21.39	21.39
2	23.32	23.32
3	23.32	23.32
4	22.30	22.30
5	23.40	23.40
	เฉลี่ย	22.55

ภาคผนวก ช

ผลการวิเคราะห์สารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ตาราง ช.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

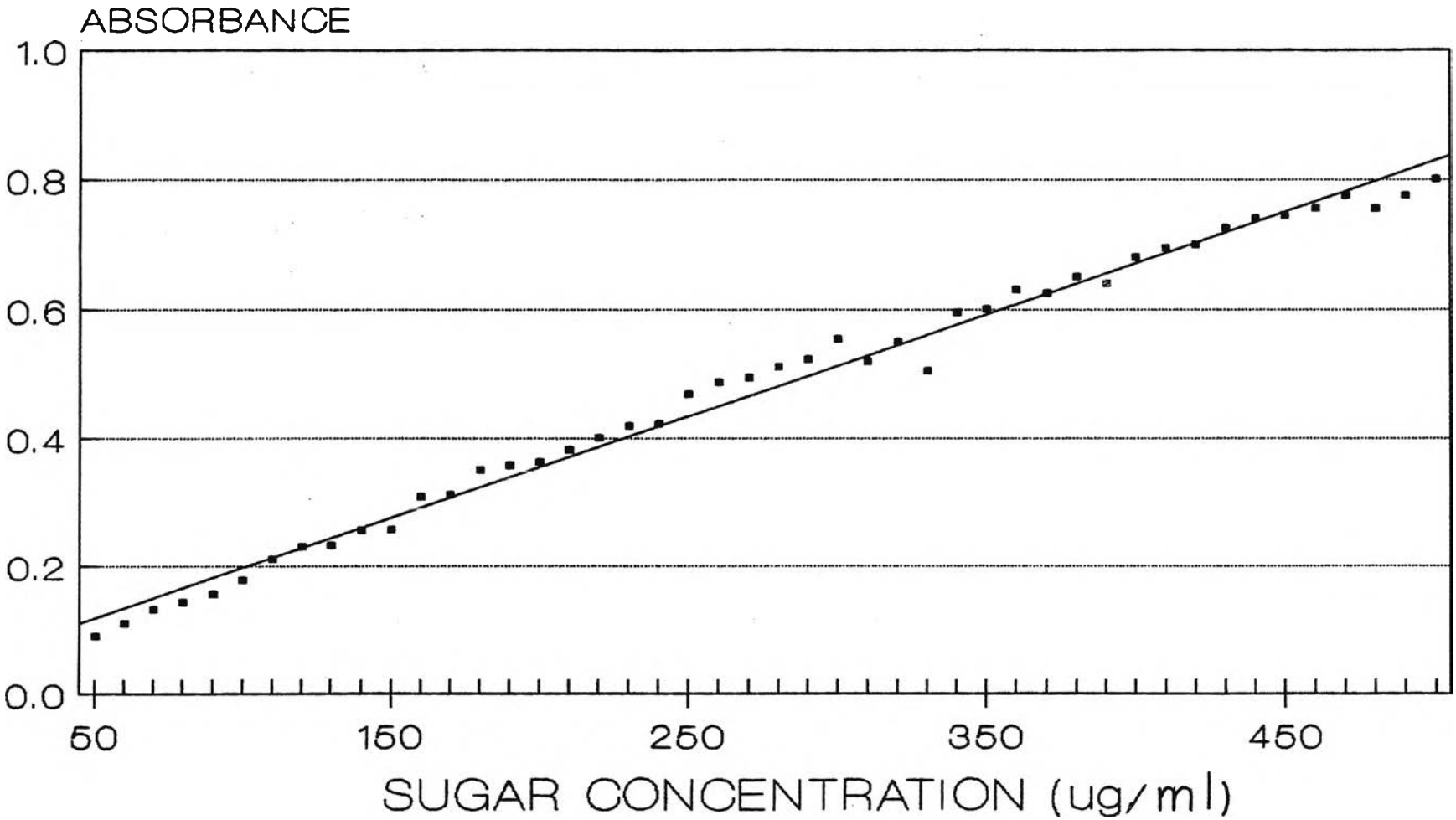
ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส ($\mu g/ml$)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร
50	0.090
60	0.109
70	0.131
80	0.143
90	0.155
100	0.177
110	0.211
120	0.230
130	0.232
140	0.256
150	0.257
160	0.309
170	0.312
180	0.350
190	0.357
200	0.363

ตาราง ช.1 (ต่อ) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร
210	0.318
220	0.400
230	0.419
240	0.422
250	0.469
260	0.488
270	0.495
280	0.512
290	0.523
300	0.554
310	0.520
320	0.550
330	0.505
340	0.595
350	0.600
360	0.630
370	0.625
380	0.650
390	0.640
400	0.680
410	0.695

ตาราง ช.1 (ต่อ) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคส (µg/ml)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร
420	0.700
430	0.725
440	0.740
450	0.745
460	0.755
470	0.775
480	0.755
490	0.775
500	0.800



รูปที่ ช.1 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกลูโคสมาตรฐาน

ภาคผนวก ช

การวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ โดยเครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์

หลักการวิเคราะห์ คือวัดปริมาณแอลกอฮอล์จากค่าการเปลี่ยนแปลงของจุดเดือดของสารละลายผสมของน้ำและแอลกอฮอล์ แล้วนำมาอ่านค่าบนสเกล ซึ่งจะได้ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในหน่วยเปอร์เซนต์โดยปริมาตร โดยมีข้อจำกัดว่าปริมาณแอลกอฮอล์ในสารละลายต้องไม่เกิน 16 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. การหาจุดเดือดของน้ำ

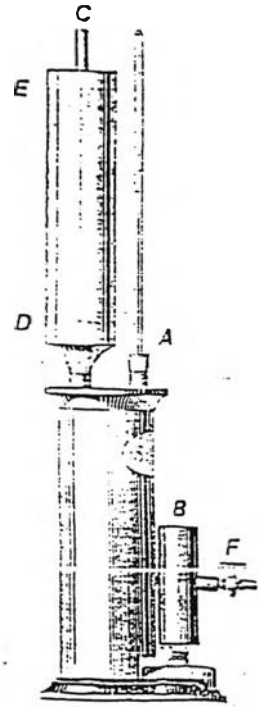
เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในหม้อต้ม (boiling chamber) A (รูป ช.1) เสียบเทอร์โมมิเตอร์ ต่อรีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ (reflux condenser) D-E จุดตะเกียงวางลงใต้ตำแหน่ง B ต้มน้ำจนกระทั่งเดือด โดยสังเกตจากไอน้ำที่ขึ้นมาเกาะบนคอนเดนเซอร์ อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำเดือด (จุดที่ปรอทขึ้นไปแล้วคงที่) บันทึกเป็นอุณหภูมิของน้ำเดือด

2. การหาจุดเดือดของสารละลายตัวอย่าง

เปิดก๊อก F เพื่อเทน้ำออก รินสารละลายตัวอย่างปริมาณเล็กน้อยใส่ลงในหม้อต้มกลั้ว แล้วเทสารละลายทิ้ง เทสารละลายตัวอย่างปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในหม้อต้ม A เสียบเทอร์โมมิเตอร์ ต้มเช่นเดียวกับน้ำกลั่น อ่านค่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย บันทึกผล

3. การอ่านค่าปริมาณแอลกอฮอล์

นำค่าอุณหภูมิจุดเดือดมาตั้งให้ตรงกับตำแหน่ง "0" ของสเกล ซึ่งหมายถึง 0 เปอร์เซนต์แอลกอฮอล์ แล้วดูตัวเลขที่ตรงกับค่าอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลาย จะได้ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในสารละลาย เช่น อุณหภูมิจุดเดือดอ่านค่าได้ 100 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายอ่านค่าได้ 90.6 องศาเซลเซียส นำไปอ่านค่าบนสเกล โดยตั้งให้ 100 ตรงกับ "0" จะสามารถอ่านค่าปริมาณแอลกอฮอล์ได้เท่ากับ 13.5 เปอร์เซนต์



รูปที่ ช.1 เครื่องอีบูลลิโอมิเตอร์

ภาคผนวก ฉ

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ในการปรับสภาพ

การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โมลาร์ ที่ใช้ในการปรับสภาพ จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ทำโดยคำนวณจาก

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

เมื่อ M_1 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 เปอร์เซนต์ (12.5 โมลาร์)

V_1 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ในการเตรียม, มิลลิลิตร

M_2 = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการเตรียม, โมลาร์

V_2 = ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการเตรียม, มิลลิลิตร

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมได้ นำไปหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอนโดยไตเตรทกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน เข้มข้น 1.0 โมลาร์ โดยใช้สารละลายฟีนอฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ และปรับค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมให้ความเข้มข้นอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm$ 0.05 โมลาร์ เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นที่ใกล้เคียงกันทุกครั้งของการปรับสภาพ

ภาคผนวก ญ

การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์

การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.1 และ 0.05 โมลาร์ ที่มีค่า pH เท่ากับ 5.0 โดยอาศัยสมการปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดอะซีติก และโซเดียมอะซีเตท ดังสมการ (ญ-1) และ (ญ-2) และการคำนวณดังต่อไปนี้

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+ \qquad (ญ\text{-}1)$$

กรดอะซีติก อะซีเตทอิออน ไฮโดรเจนอิออน

$$CH_3COONa \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+ \qquad (ญ\text{-}2)$$

โซเดียมอะซีเตท อะซีเตทอิออน ไฮโดรเจนอิออน

โดยมีค่าคงที่ของการแตกตัวของกรดอะซีติก (K_a) = 1.8×10^{-5} (ที่ 25 องศาเซลเซียส)

จาก $pK_a = -\log(K_a)$ (ญ-3)

ดังนั้น $pK_a = -\log(1.8 \times 10^{-5})$

$= 4.78$

จากสมการของ Henderson และ Hasselbalch :

$$pH = pK_a + \log([CH_3COO^-]/[CH_3COOH]) \qquad (ญ\text{-}4)$$

แทนค่า $5.0 = 4.78 + \log([CH_3COO^-]/[CH_3COOH])$

จัดสมการใหม่ จะได้ $\log([CH_3COO^-]/[CH_3COOH] = 0.22$

หรือ $[CH_3COO^-]/[CH_3COOH] = 1.66$

ดังนั้น $[CH_3COO^-] = 1.66\ [CH_3COOH]$

หมายความว่าในสารละลายบัฟเฟอร์ ถ้าใช้กรด 1 ส่วน ต้องใช้อะซีเตทอิออน 1.66 ส่วน

ญ.1 <u>สารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์, pH เท่ากับ 5.0</u>

สารละลายเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ดังนั้นคิดเป็นความเข้มข้นในส่วนของกรด

$CH_3COOH = \{1/(1 + 1.66)\} \times (0.1$ โมลาร์$)$

$= 0.0376$ โมลาร์

ความเข้มข้นในส่วนของอะซีเตทอิออน

$CH_3COO^- = \{1.66/(1 + 1.66)\} \times (0.1$ โมลาร์$)$

$= 0.0624$ โมลาร์

<u>วิธีเตรียม</u>

ปิเปตกรดอะซีติก ปริมาตรเท่ากับ $= \dfrac{(0.0376 \text{ โมล})(60 \text{ กรัม/โมล})}{\text{ความหนาแน่นของกรดที่ใช้เตรียม}}$

และ ชั่งโซเดียมอะซีเตท หนัก $= (0.0624 \text{ โมล})(82 \text{ กรัม/โมล})$

$= 5.1168$ กรัม

ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบบรรจุอยู่ ปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 1000 มิลลิลิตร ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปวัดค่า pH และปรับให้ได้เท่ากับ 5.0 โดยใช้สารละลายกรดอะซีติก และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

ญ.2 <u>สารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์, pH เท่ากับ 5.0</u>

สารละลายเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ดังนั้นคิดเป็นความเข้มข้นในส่วนของกรด

$$CH_3COOH = \{1/(1 + 1.66)\} \times (0.05 \text{ โมลาร์})$$

$$= 0.0188 \text{ โมลาร์}$$

ความเข้มข้นในส่วนของอะซีเตทอิออน

$$CH_3COO^- = \{1.66/(1 + 1.66)\} \times (0.1 \text{ โมลาร์})$$

$$= 0.0312 \text{ โมลาร์}$$

<u>วิธีเตรียม</u>

$$\text{ปิเปตกรดอะซีติก ปริมาตรเท่ากับ} = \frac{(0.0188 \text{ โมล})(60 \text{ กรัม/โมล})}{\text{ความหนาแน่นของกรดที่ใช้เตรียม}}$$

$$\text{และ ชั่งโซเดียมอะซีเตท หนัก} = (0.0312 \text{ โมล})(82 \text{ กรัม/โมล})$$

$$= 2.5584 \text{ กรัม}$$

ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1000 มิลลิลิตร ที่มีน้ำกลั่นบรรจุอยู่ ปรับปริมาตรให้ได้ประมาณ 1000 มิลลิลิตร ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปวัดค่า pH และปรับให้ได้เท่ากับ 5.0 โดยใช้สารละลายกรดอะซีติก และโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง

การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ค่า pH อื่น ทำได้โดยเปลี่ยนค่า pH ที่ใช้ในการคำนวณ ในสมการที่ ญ-4 และใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับข้อ ญ.1 และ ญ.2

ภาคผนวก ฎ

ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฝางที่เหลืออยู่ หลังการปรับสภาพ ด้วยวิธีการต่างๆ เทียบกับน้ำหนักฝางเริ่มต้น

ปริมาณส่วนประกอบที่เหลืออยู่ในตะกอนฝางหลังการปรับสภาพ เทียบกับน้ำหนักฝางเริ่มต้น สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ, (\%)} = (100 - WL)(A/100)$$

เมื่อ WL = น้ำหนักฝางที่หายไปในระหว่างการปรับสภาพ, เปอร์เซนต์

A = ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฝาง หลังปรับสภาพ, เปอร์เซนต์

ตารางที่ ฎ.1 ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น และอุณหภูมิต่างๆ เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

ความเข้มข้นของ NaOH (M)	อุณหภูมิที่ใช้ต้ม (°C)	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ (% น้ำหนักแห้ง)			
			เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
0.5	30	25.21	55.30	2.59	13.96	2.94
	50	27.98	56.47	2.43	10.66	2.46
	70	29.07	59.59	2.75	6.29	1.52
	90	30.37	58.39	1.05	5.97	2.12
1.0	30	26.03	56.27	2.43	12.52	2.74
	50	28.53	59.93	2.29	6.55	1.99
	70	30.15	61.87	1.66	4.00	1.61
	90	36.36	57.71	0.70	2.83	2.41
1.5	30	29.26	57.48	2.36	9.06	1.84
	50	35.35	57.29	1.15	4.00	2.21
	70	42.10	52.76	1.02	2.11	2.00
	90	45.97	49.58	0.45	2.31	2.23
2.0	30	31.98	57.53	1.98	6.96	1.55
	50	36.00	57.68	0.93	3.36	2.03
	70	43.48	53.39	0.70	1.22	1.21
	90	49.70	47.72	0.06	0.90	1.64

ตารางที่ ฎ.2 ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 2.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิต่างๆ เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

ความเข้มข้นของ NaOH (M)	อุณหภูมิที่ใช้ต้ม (°C)	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ (% น้ำหนักแห้ง)			
			เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
2.0	30	31.98	57.53	1.98	6.96	1.55
	50	36.00	57.68	0.93	3.36	2.03
	60	40.12	55.13	0.88	2.11	1.76
	70	43.48	53.39	0.70	1.22	1.21
	80	46.51	50.38	0.60	0.89	1.62
	90	49.70	47.72	0.06	0.90	1.64

ตารางที่ ฎ.3 ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพด้วยการต้มกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ความเข้มข้น และเวลาต่างๆ เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

ความเข้มข้นของ NaOH (M)	เวลาที่ใช้ต้ม (MIN)	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ (% น้ำหนักแห้ง)			
			เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
0.5	15	45.86	41.32	2.16	8.64	2.02
	30	48.32	41.49	1.45	6.76	1.97
	45	51.70	39.18	1.18	5.67	2.27
1.0	15	48.17	42.90	1.84	5.21	1.88
	30	51.76	42.41	0.85	3.24	1.74
	45	54.99	40.24	0.83	1.84	2.09
1.5	15	55.07	38.55	1.13	3.45	1.80
	30	59.49	36.23	0.76	2.01	1.51
	45	62.45	34.56	0.53	1.22	1.24
2.0	15	61.03	33.78	0.63	3.22	1.34
	30	65.65	30.88	0.55	1.82	1.10
	45	78.48	19.97	0.29	0.58	0.68

ตารางที่ ฎ.4 ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพด้วยสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

ความเข้มข้นของเอทานอล (% V/V)	อุณหภูมิ (°C)	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ (% น้ำหนักแห้ง)			
			เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
50	70	4.29	58.60	4.11	20.67	12.50
75		8.15	59.72	3.74	16.88	11.51
95		10.93	60.38	3.70	12.05	12.93

ตารางที่ ฎ.5 ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพโดยใช้เอทานอลร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

วิธีการปรับสภาพ	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบ (% น้ำหนักแห้ง)			
		เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
ต้มใน 95%เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., แช่ 2.0 M NaOH 24 ชม.	50.41	44.51	0.90	2.22	1.86
ต้มใน 95% เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., แช่ 2.0 M NaOH 24 ชม.,ต้มที่ 50 °C 90 นาที	52.71	43.42	0.83	1.48	1.56
ต้มใน 95% เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., แช่ 2.0 M NaOH 24 ชม.,ต้มที่ 70 °C 90 นาที	56.20	44.12	0.87	1.13	1.44

ตารางที่ ฎ.6 ปริมาณส่วนประกอบในตะกอนฟาง หลังการปรับสภาพฟางข้าวโดยใช้เอทานอลร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เทียบกับน้ำหนักฟางเริ่มต้น

วิธีการปรับสภาพ	น้ำหนักฟางที่หายไป (%)	ปริมาณส่วนประกอบที่เหลือ (% น้ำหนักแห้ง)			
		เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เถ้า
ต้มใน 95%เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., ต้มใน 0.5 M NaOH 15 นาที	51.93	41.39	1.88	2.47	2.33
ต้มใน 95% เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., ต้มใน 1.0 M NaOH 15 นาที	57.98	37.19	1.42	1.46	1.95
ต้มใน 95% เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., ต้มใน 1.5 M NaOH 15 นาที	59.85	35.78	1.33	1.25	1.79
ต้มใน 95% เอทานอล ที่ 70 °C, 4 ชม., ต้มใน 2.0 M NaOH 15 นาที	61.31	34.89	1.34	0.64	1.83

ภาคผนวก ฎ

การหาค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา จากผลการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าว

ตารางที่ ฎ.1 ผลการหาค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา จากผลการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าว

เวลา (ชั่วโมง) (t)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ (มิลลิกรัม) ([P])	log[P]	อัตราเร็วของปฏิกิริยาจากผลการทดลอง $v = \Delta P/\Delta t$
1	361.45	2.56	361.45
2	412.58	2.62	48.55
3	440.19	2.63	30.19
4	461.65	2.66	21.46
5	474.30	2.68	12.65
6	491.95	2.69	15.70
8	503.72	2.70	6.50
10	539.63	2.73	13.14
12	535.05	2.73	2.52
14	539.44	2.73	2.20
16	557.07	2.75	8.82
18	555.30	2.74	0.15
20	557.43	2.75	1.06

ตารางที่ ฎ.1 (ต่อ) ผลการหาค่าอัตราเร็วของปฏิกิริยา จากผลการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าว

เวลา (ชั่วโมง) (t)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ (มิลลิกรัม) ([P])	log[P]	อัตราเร็วของปฏิกิริยาจากผลการทดลอง $v = \Delta P/\Delta t$
24	550.66	2.74	3.14
28	560.37	2.75	2.50
32	571.80	2.76	2.37
36	589.48	2.77	2.37
42	586.48	2.77	2.37
48	610.67	2.79	2.37

ภาคผนวก ฐ

การเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากผลการทดลอง และจากการคำนวณ ในช่วง 16 ชั่วโมงของการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าว

ตารางที่ ฐ.1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้จากผลการทดลอง และจากการคำนวณ ในช่วง 16 ชั่วโมงของการย่อยเซลลูโลสในฟางข้าว

เวลา (ชั่วโมง) (t)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ (มิลลิกรัม) ([P])	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ $[P] = 416.87 \times 10^{0.01t}$
1	361.45	426.58
2	412.58	436.52
3	440.19	446.68
4	461.65	457.09
5	474.30	467.74
6	491.95	478.63
8	503.72	501.19
10	539.63	524.81
12	535.05	549.54
14	539.44	575.44
16	557.07	602.56

ภาคผนวก ท

เมตาโบลิซึมภายในเซลล์ยีสต์

(Metabolism in Cell Yeast)

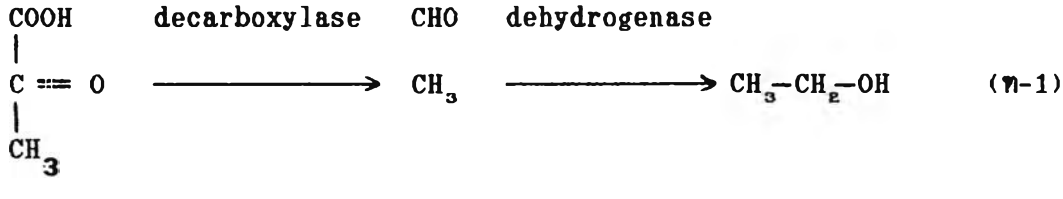
เมตาโบลิซึมภายในเซลล์มี 2 แบบ คือ

1. เมตาโบลิซึมการหมัก
2. เมตาโบลิซึมการหายใจ

<u>เมตาโบลิซึมการหมัก</u>

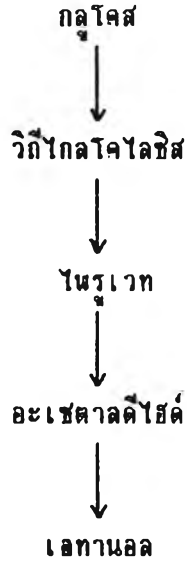
ยีสต์ใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานหลักของการดำรงชีวิต น้ำตาลผ่านเข้าสู่เซลล์ด้วยระบบการขนส่งผ่านผนังเซลล์ หรือที่เยื่อไซโตพลาสซึม (cytoplasm) การหมักจะเกิดขึ้นภายในไซโตพลาสซึมนี้ โดยกลูโคสซึ่งเป็นน้ำตาลหลักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามวิถีไกลโคไลซิส จนได้ไพรูเวท (pyruvate) 2 โมเลกุล (รูปที่ ท.2) และไพรูเวทจะเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ในปฏิกิริยาไพรูเวทดีคาร์บอกซีเลชั่น (pyruvate decarboxylation) กลายเป็นอะเซตาลดีไฮด์ (acetaldehyde) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาแอลกอฮอล์ดีคาร์บอกซีเลชั่น (alcohol decarboxylation) เกิดเป็นเอทานอล ซึ่งมีขั้นตอนแสดงในรูป ท.1

ผลที่ได้จากวิถีไกลโคไลซิส คือ 2 pyruvate, 2ATP, และ2NADH จะถูกนำมาใช้ในการหมัก ตามสมการ ท-1 ซึ่งจะได้ 2 ethanol, 2 CO_2, และ 2ATP

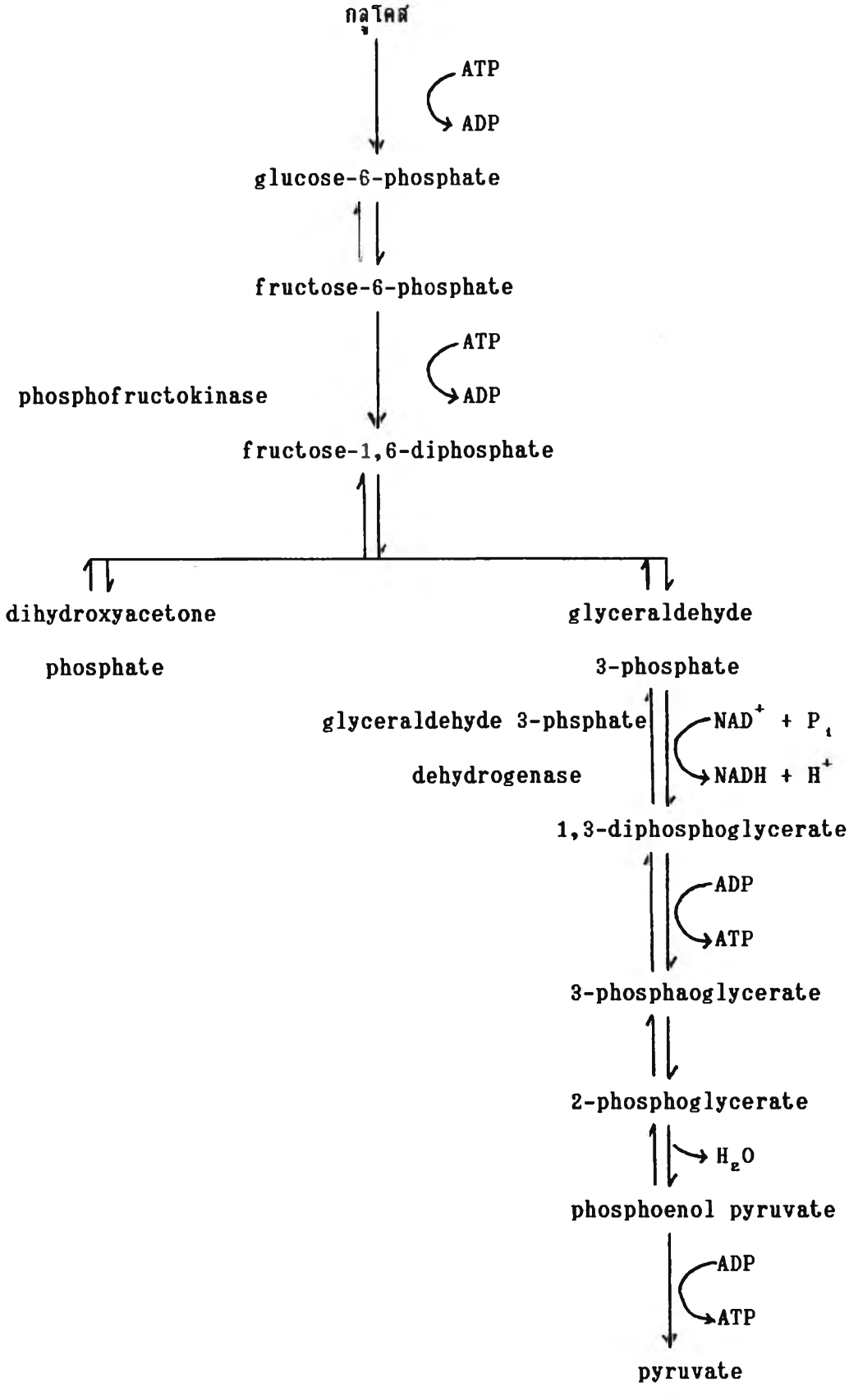


(ท-1)

(2)pyruvate (2)acetaldehyde (2)ethanol



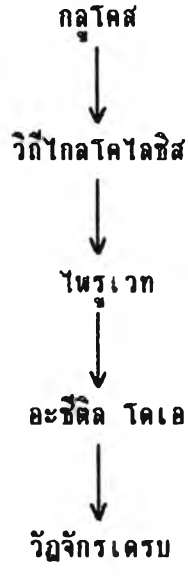
รูปที่ ท.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหมักแอลกอฮอล์



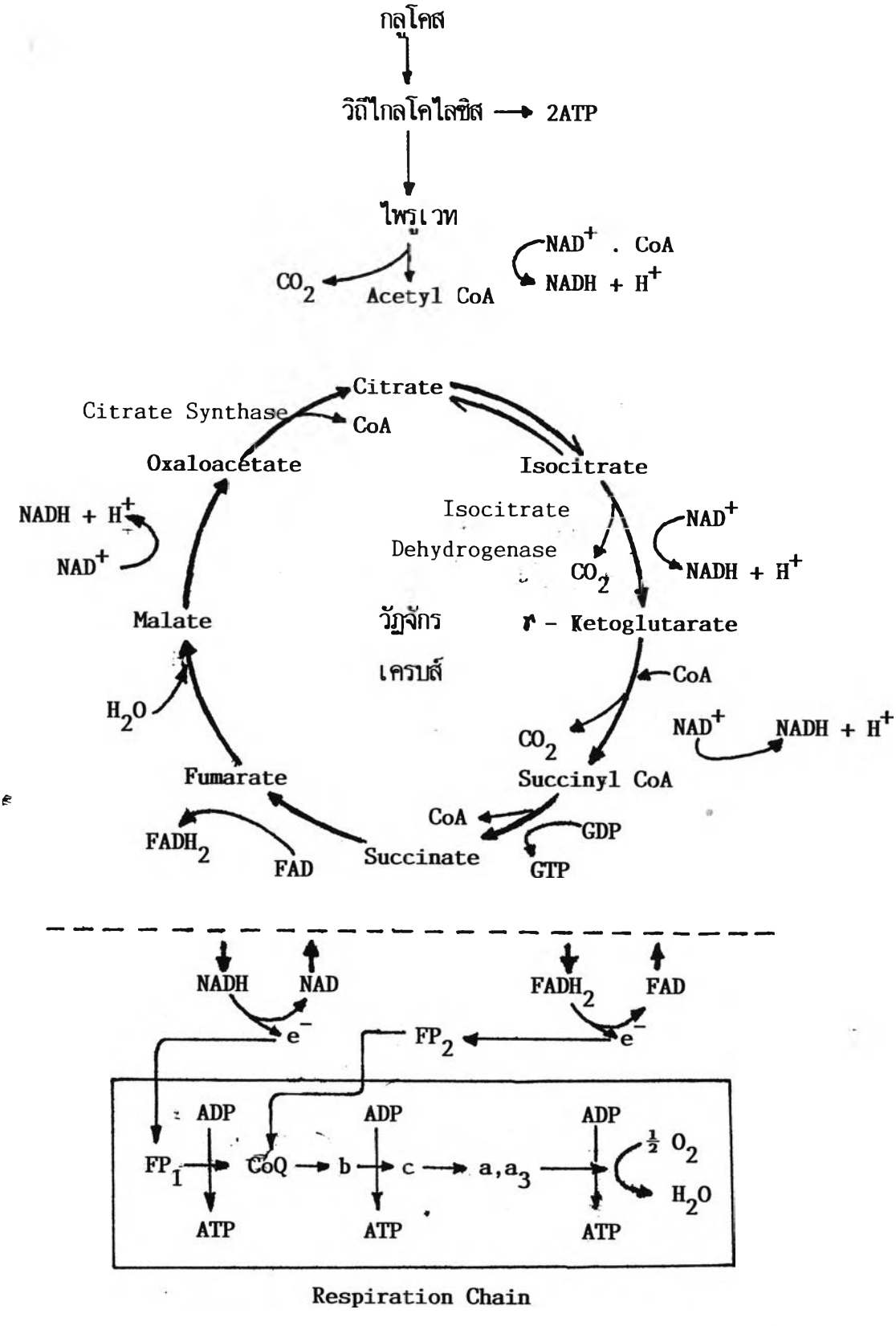
รูปที่ ท.2 แสดงการสลายกลูโคสเป็นไพรูเวท (วิถีไกลโคไลซิส)

เมตาโบลิซึมการหายใจ

ยีสต์จะเปลี่ยนกลูโคสผ่านวิถีไกลโคไลซิส ให้กลายเป็นไพรูเวท จากนั้นจะเกิดการเผาผลาญไพรูเวทในไมโตคอนเดรีย (mitochondria) โดยเสียคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วเปลี่ยนเป็น อะซีติล โคเอ (acetyl CoA) ซึ่งจะเข้าสู่วัฏจักรเครบ (Kreb's cycle) (รูปที่ ท.4) และเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด ซึ่งมีขั้นตอนแสดงได้ดังรูปที่ ท.3



รูปที่ ท.3 แผนภาพแสดงขั้นตอนการหายใจ



Respiration Chain

FP = Glaroprotein, CoQ = Coenzyme, b, c, a, a_3 = Cycrome

รูปที่ ท.4 แสดงความสัมพันธ์ของวัฏจักรเครบในขั้นตอนการหายใจ

ภาคผนวก ฌ

การคำนวณค่าการเปลี่ยนของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอล เทียบกับค่าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี

ในการคำนวณค่าการเปลี่ยนของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอล เทียบกับค่าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี อาศัยสมการปฏิกิริยา คือ

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

180 กรัม 92 กรัม

โดยใช้หลักอ้างอิงจากสารละลาย 100 มิลลิลิตร แสดงตัวอย่างในการคำนวณได้ดังนี้ คือ

จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เริ่มต้น = 2.7403 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

วันที่ 1 มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ลดลงเหลือ = 0.1174 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

คิดเป็นปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลง = 2.7403 - 0.1174

= 2.6226 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

จากสมการปฏิกิริยา ปริมาณน้ำตาล 2.6226 กรัม จะเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้

= (2.6226 X 92) / 180

= 1.3404 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

วันที่ 1 มีปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ 0.75 มิลลิลิตรในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

คิดเป็นปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ = 0.75 X 0.9988

= 0.7491 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

เมื่อ 0.9988 คือ ค่าความหนาแน่นของเอทานอล ที่ 30 องศาเซลเซียส จากตาราง ฌ.1

ค่าการเปลี่ยนของน้ำตาลรีดิวซ์เป็นเอทานอล เทียบกับค่าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี คำนวณจาก

$$\text{ค่าการเปลี่ยน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้ X 100}}{\text{ปริมาณเอทานอลที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี}}$$

$$= (0.7491 \text{ X } 100) / 1.3404$$

= 55.88 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ฌ.1 ค่าความหนาแน่นของเอทานอลเทียบกับค่าในหน่วยเปอร์เซนต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิต่างๆ

Apparent Specific Gravity	15.56 / 15.56	20 20	22 22	24 24	25 25	26 26	28 28	30 30	32 32	34 34	35 35	36 36
1.0000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.9999	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07	.07
98	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13
97	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20
96	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26	.26
95	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33	.33
94	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40	.40
93	.47	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46	.46
92	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53	.53
91	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60	.60
90	.67	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66	.66
89	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73	.73
88	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.79	.79	.79	.79	.79	.79
87	.87	.87	.87	.87	.87	.87	.86	.86	.86	.86	.86	.86
86	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93	.93
85	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.99	.99	.99	.99	.99	.99
84	.07	.07	.07	.07	.07	.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06
83	.14	.14	.14	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13	.13
82	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.19	.19	.19	.19	.19
81	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.26	.26	.26	.26	.26	.26
80	.34	.34	.34	.34	.34	.33	.33	.32	.32	.32	.32	.32
79	.41	.41	.41	.40	.40	.40	.40	.39	.39	.39	.39	.39
78	.48	.48	.48	.47	.47	.47	.47	.46	.46	.46	.46	.46
77	.54	.54	.54	.54	.54	.53	.53	.53	.53	.53	.52	.52
76	.61	.61	.61	.60	.60	.60	.60	.59	.59	.59	.59	.59
75	.68	.68	.68	.67	.67	.67	.67	.66	.66	.66	.66	.66
74	.75	.75	.75	.74	.74	.73	.73	.73	.73	.72	.72	.72
73	.82	.81	.81	.81	.81	.80	.80	.80	.80	.79	.79	.79
72	.88	.88	.88	.87	.87	.87	.86	.86	.86	.85	.85	.85
71	.95	.95	.95	.94	.94	.94	.93	.93	.93	.92	.92	.92
70	2.02	2.02	2.02	2.01	2.01	2.01	2.00	2.00	2.00	.99	.99	.99
69	.09	.09	.09	.08	.08	.08	.07	.07	.06	2.05	2.05	2.05
68	.16	.15	.15	.14	.14	.14	.14	.14	.13	.12	.12	.12
67	.23	.22	.22	.21	.21	.21	.20	.20	.20	.19	.19	.19
66	.30	.29	.29	.28	.28	.28	.27	.27	.27	.26	.26	.26
65	.37	.36	.36	.35	.35	.35	.34	.34	.33	.32	.32	.32
64	.43	.43	.43	.42	.42	.42	.41	.41	.40	.39	.39	.39
63	.50	.50	.50	.49	.49	.49	.48	.48	.47	.46	.46	.46
62	.57	.57	.57	.56	.56	.56	.55	.54	.54	.53	.53	.53
61	.64	.64	.64	.63	.63	.63	.62	.61	.60	.60	.59	.59
60	.71	.70	.70	.70	.70	.70	.69	.68	.67	.67	.66	.66
59	.78	.77	.77	.77	.77	.77	.76	.75	.74	.74	.73	.73
58	.85	.84	.84	.83	.83	.83	.82	.82	.81	.81	.80	.80
57	.92	.91	.91	.90	.90	.90	.89	.88	.87	.87	.86	.86
56	.99	.98	.98	.97	.97	.97	.96	.95	.94	.94	.93	.93
55	3.06	3.05	3.05	3.04	3.04	3.04	3.03	3.02	3.01	3.01	3.00	3.00
54	.13	.12	.12	.11	.11	.11	.10	.09	.08	.08	.07	.07
53	.20	.19	.19	.18	.18	.18	.17	.16	.15	.15	.14	.14
52	.27	.26	.26	.25	.25	.25	.24	.23	.22	.22	.21	.21
51	.34	.33	.33	.32	.32	.32	.31	.30	.29	.28	.27	.27
50	.41	.40	.40	.39	.39	.39	.38	.37	.36	.35	.34	.34
49	.49	.47	.47	.46	.46	.46	.45	.44	.43	.42	.41	.41
48	.56	.54	.54	.53	.53	.53	.52	.51	.50	.49	.48	.48
47	.63	.61	.61	.60	.60	.60	.59	.58	.57	.56	.55	.55
46	.70	.68	.68	.67	.67	.67	.66	.65	.64	.63	.62	.62
45	.77	.76	.75	.74	.74	.74	.73	.72	.70	.69	.68	.68
44	.84	.83	.82	.81	.81	.81	.79	.78	.77	.76	.75	.75
43	.91	.91	.89	.88	.88	.88	.86	.85	.84	.83	.82	.82
42	.99	.97	.96	.95	.95	.95	.93	.92	.91	.90	.89	.89
41	4.06	4.04	4.03	4.02	4.02	4.02	4.00	.99	.98	.97	.96	.96
40	.13	.11	.10	.10	.09	.09	.07	4.06	4.05	4.04	4.03	4.03
39	.20	.18	.17	.17	.16	.16	.14	.13	.12	.11	.10	.10
38	.28	.26	.25	.25	.24	.23	.21	.20	.19	.18	.17	.17
37	.35	.33	.32	.32	.31	.30	.28	.27	.26	.25	.24	.24
36	.42	.40	.39	.39	.38	.37	.36	.35	.33	.32	.31	.30
35	.50	.48	.47	.46	.45	.44	.43	.42	.40	.39	.38	.37
34	.57	.55	.54	.53	.52	.51	.50	.49	.47	.46	.45	.44
33	.64	.62	.61	.60	.59	.58	.57	.56	.54	.53	.52	.51
32	.71	.69	.68	.67	.66	.65	.64	.63	.61	.60	.59	.58
31	.79	.77	.76	.75	.74	.73	.72	.70	.68	.67	.66	.65

(Continued)

* Compiled at National Bureau of Standards. Table is based on data published in *Bull. Natl. Bur. Std.* 9(3) (1913). (Sci. Paper No. 197).

ตารางที่ ฌ.1(ต่อ) ค่าความหนาแน่นของเอทานอลเทียบกับค่าในหน่วยเปอร์เซนต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิต่างๆ

Apparent Specific Gravity	15.56 / 15.56	20/20	22/22	24/24	25/25	26/26	28/28	30/30	32/32	34/34	35/35	36/36
0.9930	4.86	4.84	4.83	4.82	4.81	4.80	4.79	4.77	4.75	4.74	4.73	4.72
29	.93	.91	.90	.89	.88	.87	.86	.84	.82	.81	.80	.79
28	5.01	.98	.97	.96	.95	.94	.93	.91	.89	.88	.87	.86
27	.08	5.06	5.04	5.03	5.02	5.01	5.00	.98	.96	.95	.94	.93
26	.16	.13	.12	.11	.10	.09	.07	5.05	5.03	5.02	5.01	5.00
25	.23	.21	.19	.18	.17	.16	.14	.12	.10	.09	.08	.07
24	.31	.28	.26	.25	.24	.23	.21	.20	.18	.16	.15	.14
23	.39	.36	.34	.33	.32	.31	.29	.27	.25	.23	.22	.21
22	.46	.43	.41	.40	.39	.38	.36	.34	.32	.30	.29	.28
21	.54	.51	.49	.48	.47	.46	.44	.42	.40	.38	.37	.36
20	.61	.58	.56	.55	.54	.53	.51	.49	.47	.45	.44	.43
19	.69	.66	.64	.62	.61	.60	.58	.56	.54	.52	.51	.50
18	.77	.73	.71	.70	.69	.68	.66	.64	.62	.59	.58	.57
17	.84	.81	.79	.77	.76	.75	.73	.71	.69	.66	.65	.64
16	.92	.88	.86	.85	.84	.83	.80	.78	.76	.74	.73	.72
15	.99	.96	.94	.92	.91	.90	.87	.85	.83	.81	.80	.79
14	6.07	6.03	6.01	6.00	.99	.93	.95	.93	.91	.88	.87	.86
13	.15	.11	.09	.07	6.06	6.05	6.02	6.00	.98	.95	.94	.93
12	.23	.18	.16	.15	.14	.13	.10	.08	6.05	6.02	6.01	6.00
11	.30	.26	.24	.22	.21	.20	.17	.15	.12	.10	.09	.08
10	.38	.34	.32	.30	.29	.28	.25	.23	.20	.17	.16	.15
09	.46	.41	.39	.37	.36	.35	.32	.30	.28	.25	.24	.23
08	.54	.49	.47	.45	.44	.43	.40	.38	.35	.32	.31	.30
07	.62	.57	.55	.53	.52	.51	.48	.45	.42	.39	.38	.37
06	.70	.65	.63	.60	.59	.58	.55	.53	.50	.47	.46	.45
05	.77	.73	.71	.68	.67	.66	.63	.60	.57	.54	.53	.52
04	.85	.80	.78	.75	.74	.73	.70	.68	.65	.62	.60	.59
03	.93	.88	.86	.83	.82	.81	.78	.75	.72	.69	.68	.67
02	7.01	.96	.93	.90	.89	.88	.85	.83	.80	.77	.75	.74
01	.09	7.04	7.01	.98	.97	.95	.92	.90	.87	.84	.82	.81
00	.17	.12	.09	7.06	7.05	7.03	7.00	.98	.94	.91	.90	.88
0.9899	.25	.19	.16	.13	.12	.10	.07	7.05	7.01	.98	.97	.95
98	.33	.27	.24	.21	.20	.18	.15	.13	.09	7.06	7.04	7.02
97	.41	.35	.32	.29	.28	.26	.23	.21	.17	.14	.12	.10
96	.50	.43	.40	.37	.36	.34	.31	.28	.24	.21	.19	.17
95	.58	.51	.48	.45	.44	.42	.39	.36	.32	.29	.27	.25
94	.66	.59	.56	.53	.52	.50	.47	.44	.40	.36	.34	.32
93	.74	.67	.64	.60	.59	.57	.54	.51	.47	.44	.42	.40
92	.82	.75	.72	.68	.67	.65	.62	.59	.55	.51	.49	.47
91	.90	.82	.79	.76	.75	.73	.70	.66	.62	.59	.57	.55
90	.98	.90	.87	.84	.83	.81	.78	.74	.70	.66	.64	.62
89	8.07	.98	.95	.92	.91	.89	.86	.82	.78	.74	.72	.7
88	.15	8.06	8.03	8.00	.98	.96	.93	.89	.85	.81	.79	.77
87	.23	.15	.11	.08	8.06	8.04	8.01	.97	.93	.89	.87	.85
86	.32	.23	.19	.16	.14	.12	.09	8.05	8.01	.96	.94	.92
85	.40	.31	.27	.24	.22	.20	.16	.12	.08	8.04	8.02	8.00
84	.48	.39	.35	.32	.30	.28	.24	.20	.16	.11	.09	.07
83	.57	.47	.43	.40	.38	.36	.32	.27	.23	.19	.17	.15
82	.65	.55	.51	.48	.46	.44	.40	.35	.31	.26	.24	.22
81	.73	.63	.59	.56	.54	.52	.48	.43	.39	.34	.32	.30
80	.82	.71	.67	.63	.61	.59	.55	.50	.46	.41	.39	.37
79	.90	.79	.75	.71	.69	.67	.63	.58	.54	.49	.47	.45
78	.98	.88	.84	.79	.77	.75	.71	.66	.61	.56	.54	.52
77	9.07	.96	.92	.87	.85	.83	.78	.73	.69	.64	.62	.60
76	.15	9.04	9.00	.95	.93	.91	.86	.81	.76	.71	.69	.67
75	.24	.13	.08	9.03	9.01	.99	.94	.89	.84	.79	.77	.75
74	.32	.21	.16	.11	.09	9.07	9.02	.96	.91	.86	.84	.82
73	.40	.29	.24	.19	.17	.15	.10	9.04	.99	.94	.92	.90
72	.49	.38	.33	.27	.25	.23	.18	.12	9.07	9.02	.99	.97
71	.57	.46	.41	.35	.33	.31	.26	.20	.15	.10	9.07	9.05
70	.66	.54	.49	.43	.41	.38	.33	.27	.22	.17	.14	.12
69	.74	.62	.57	.51	.49	.46	.41	.35	[illegible]	.25	.22	.19
68	.82	.70	.65	.59	.57	.54	.49	.43	.37	.32	.29	.26
67	.91	.79	.74	.68	.65	.62	.57	.51	.45	.40	.37	.34
66	.99	.87	.82	.76	.73	.70	.65	.59	[illegible]	.47	.44	.41
65	10.08	.95	.90	.84	.81	.78	.72	.66	.60	.54	.51	.48
64	.16	10.03	.98	.92	.89	.86	.80	.74	.68	.62	.59	.56
63	.25	.11	10.06	10.00	.97	.94	.88	.82	.76	.69	.66	.63
62	.33	.20	.14	.08	10.05	10.02	.96	.90	.84	.77	.74	.71
61	.42	.28	.22	.16	.13	.10	10.04	.98	.91	.84	.81	.78

ภาคผนวก ฉ

ภาพรวมการผลิต

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถนำมาเขียนเป็นภาพรวมการผลิตได้ โดยเริ่มจากฟางข้าว 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้ คือ

เซลลูโลส	59.47	กรัม
เฮมิเซลลูโลส	4.31	กรัม
ลิกนิน	21.73	กรัม
เถ้า	14.49	กรัม

เมื่อนำฟางข้าวไปปรับสภาพ ด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของฟางข้าวต่อสารละลายเท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยนำไปต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที หลังจากกรองแยกสารละลายออกแล้ว นำตะกอนฟางไปล้างด้วยน้ำกลั่นจนหมดสารละลาย จากวิธีการนี้จะได้ตะกอนฟางที่มีส่วนประกอบ คือ เซลลูโลส 94.46 เปอร์เซนต์น้ำหนักแห้ง เฮมิเซลลูโลส 1.24 เปอร์เซนต์น้ำหนักแห้ง ลิกนิน 2.16 เปอร์เซนต์น้ำหนักแห้ง และเถ้า 2.14 เปอร์เซนต์น้ำหนักแห้ง โดยมีน้ำหนักฟางหายไปในระหว่างการปรับสภาพเท่ากับ 43.48 กรัม ดังนั้นตะกอนฟางที่เหลืออยู่ 56.52 กรัม มีส่วนประกอบดังนี้ คือ

เซลลูโลส	(0.9446) X (56.52 กรัม) =	53.39	กรัม
เฮมิเซลลูโลส	(0.0124) X (56.52 กรัม) =	0.70	กรัม
ลิกนิน	(0.0216) X (56.52 กรัม) =	1.22	กรัม
เถ้า	(0.0214) X (56.52 กรัม) =	1.21	กรัม

เมื่อนำตะกอนฟางที่มีเซลลูโลสประกอบอยู่ 53.39 กรัม ไปทำปฏิกิริยาการย่อยกับเอนไซม์เซลลูเลส ในสารละลายโซเดียมอะซีเตทบัฟเฟอร์ ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.0 โดยใช้อัตราส่วนของเอนไซม์ต่อเซลลูโลสเท่ากับ 500 ไมโครลิตรต่อกรัม ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จะได้สารละลายที่มีน้ำตาลรีดิวซ์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก สูตรค่าการเปลี่ยน คือ

$$\text{ค่าการเปลี่ยน (\%)} = \frac{\text{(ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้, กรัม) X (0.89) X 100}}{\text{(ปริมาณเซลลูโลส, กรัม)}}$$

เมื่อค่าการเปลี่ยนของเซลลูโลสไปเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ที่เวลาการย่อย 16 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 49.58 เปอร์เซนต์ แทนค่า จะได้ว่า

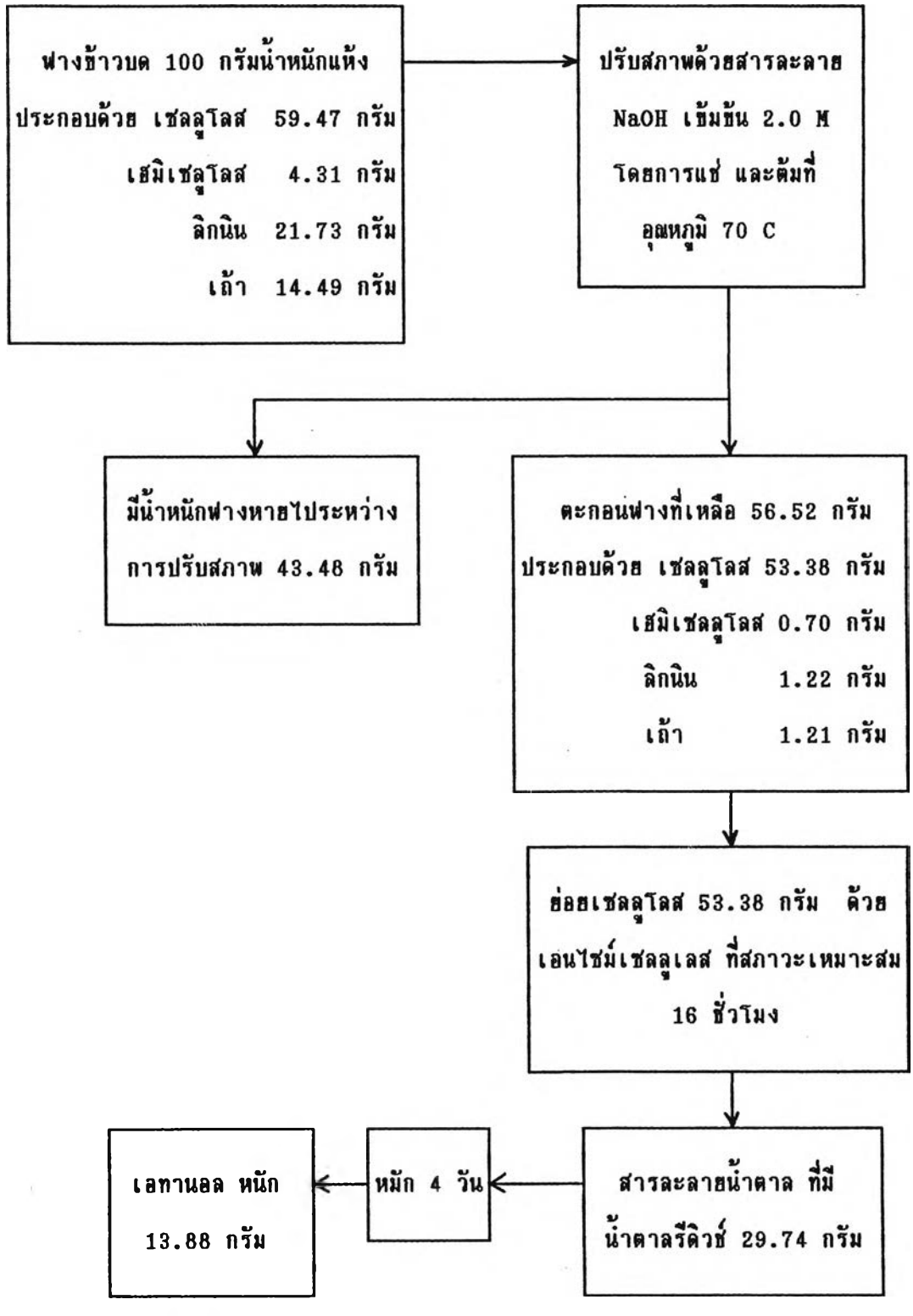
$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้} = \frac{(49.58)\ X\ (53.39)}{(0.89)\ X\ (100)} = 29.74 \text{ กรัม}$$

สารละลายน้ำตาลรีดิวซ์ที่ผลิตได้ นำไปปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และเติมสารอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญของยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* สายพันธุ์ TISTR 5013 นำไปทำให้ปราศจากเชื้อ ถ่ายเชื้อยีสต์ที่อยู่ในระยะเจริญเต็มที่แล้วลงไปในปริมาณ 5 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร นำไปหมักที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 4 วัน จะผลิตเอทานอลได้ เท่ากับ 95.25 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ของค่าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี นั่นคือ

$$\text{ปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้} = \frac{(0.9225)\ X\ (29.74)\ X\ (92)}{180} = 13.88 \text{ กรัม}$$

คิดเป็นผลผลิตร้อยละ (% yield) เทียบกับปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ

$$= \frac{(13.88)\ X\ 100}{(53.39)} = 26.00 \text{ เปอร์เซนต์}$$



รูปที่ ฌ.1 แผนภาพแสดงภาพรวมการผลิตเอทานอลจากฟางข้าว

ประวัติผู้เขียน

นางสาวระวีวรรณ แกล้วกล้า เกิดวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ.2511 ที่จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2533 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในสาขา เคมีเทคนิค เมื่อปี พ.ศ. 2534