

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ไกรสิทธิ์ อัมพรายณ์. 2543. การย่อยขนาดอนุภาค. หน้า 34-42. กรุงเทพฯ: โซคอนันต์การพิมพ์ และบรรจุกัณฑ์ จำกัด.
- วัฒนา สุนทรชัย. 2542. เรียนสถิติด้วยSPSS ภาคสถิติอิงพารามิเตอร์. หน้า 173-198. กรุงเทพฯ: วิทย์พัฒน์.

ภาษาอังกฤษ

- Adler, J., Baldwin, P.M., and Melia, C.D. 1994. Starch damage. Part 2: Types of damage in ball-milled potato starch, upon hydration observed by confocal microscopy. Starch/Stärke. 46(7): 252-256.
- American Association of Cereal Chemists. 1995. Approved Methods of the AACC. 9 th ed. St.Paul: The Association.
- Anker, C.A., and Gedds, W.F. 1944. Gelatinization studies upon wheat and others starches with the Amylograph. Cereal Chemistry. 21(5): 335-360.
- AOAC. 1990. Official Method of Analysis. 15 th ed. Verginia: The Association of Official Analytical Chemists.
- Baldwin, P.M., Adler, J., Davies, M.C., and Melia, C.D. 1994. Starch damage. Part 1: Characterisation of granule damage in ball-milled potato starch study by SEM. Starch/Stärke. 46(7): 247-251.
- Becker, A., Hill, S.E., and Mitchell, J.R. 2001. Milling – A further parameter affecting the Rapid visco analyser (RVA) profile. Cereal Chemistry. 78(2): 166-172.
- Bencini, M.C. 1986. Functional properties of drum-dried chick pea (*Cicer arietium L.*) flours. J. Food Sci. 51(6): 1518-1526.
- Biliaderis, C.G. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. Food Technology. 46(6): 98-109.
- Biliaderis, C.G., Page, C.M., Maurice, T.J., and Juliano, B.O. 1986. Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. J. Agric. Food Chem. 34: 6-14.

- Charley, H. 1982. Food science. 2 nd ed. p.119. New York: John Wiley & Sons.
- Cochran, W.C., and Cox, G.M. 1985. Experimental design. New York: John Wiley & Sons.
- Eliasson, A.C., and Gudmundsson, M. 1996. Starch: Physicochemical and functional aspects. In A.C. Eliasson(ed.). Carbohydrates in food. pp. 431-503. New York: Marcel Dekker.
- Ellis, R.P., Cochran, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S., and Tiller, S.A. 1998. Starch production and industrial use. J. Sci. Food Agric. 77: 289-311.
- French, D. 1984. Organization of starch granule. In R.L. Whistler, J.N. BeMiller, and E.F. Parrish (eds.). Starch: Chemistry and technology. 2 nd ed. pp. 183-247. Orlando: Academic Press.
- Garcia, V., Colonna, P., Bouchet, B., and Gallant, D.J. 1997. Structural changes of cassava starch granules after heating at intermediate water contents. Starch/Stärke. 49(5): 171-179.
- Haase, N.U., Mintus, T., and Weipert, D. 1995. Viscosity measurements of potato starch paste with the Rapid visco analyzer. Starch/Stärke. 47(4): 123-126.
- Hari, P.K., Garg, S., and Garg, S.K. 1989. Gelatinization of starch and modified starch. Starch/Stärke. 41(3): 88-91.
- Hazelton, J.L., and Walker, C.E. 1996. Temperature of liquid contents in RVA cans during operation. Cereal Chemistry. 73(2): 284-289.
- Hizukuri, S. 1996. Starch: Analytical aspects. In A.C. Eliasson(ed.). Carbohydrates in food. pp. 347-429. New York: Marcel Dekker.
- Hoseney, R.L. 1994. Principles of cereal science and technology. 2 nd ed. pp.44-52. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Jacobs, H., and Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. J. Agric. Food Chem. 46(8): 2895-2905.
- Jarvis, C.E., and Walker, J.R.L. 1993. Simultaneous, rapid, spectrophotometric determination of total starch, amylose and amylopectin. J. Sci. Food Agric. 63: 53-57.

- Jenkin, P.J., Cameron, R.E., Donald, A.M., Bras, W., Derbyshire, G.E., Mant, G.R., and Ryan, A.J. 1994. In situ simultaneous small and wide- angle X-ray scattering: A new technique to study starch gelatinization. J. Polym. Sci. Polym.Phys.Ed. cited in Jacobs, H., and Delcour, J.A. 1998. Hydrothermal modifications of granular starch, with retention of the granular structure: A review. J. Agric. Food Chem. 46(8): 2895-2905.
- Jones, C.R. 1940. The production of mechanically damaged starch in milling as a governing factor in the diastatic activity of flour. Cereal Chemistry. 17(2): 133-169.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled – rice amylose. Cereal Science Today. 16(10): 334-360.
- Katz, J.R. 1938. Viscosity of starch pastes-the change therein due to continued heating and stirring, and their relation to the size of cotton yarns. Textile Research. 9: 69-78. cited in Anker, C.A., and Gedds, W.F. 1944. Gelatinization studies upon wheat and others starches with the Amylograph. Cereal Chemistry. 21(5): 335-360.
- Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P., Orr, P.H., and Grant, L.A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. J. Food Sci. 60: 1060-1065.
- Kofler, L., Kofler, A., and Branstatler, M. 1954. Kofler thermo-mikro-methoden zur Kinnzeichnung organischer stoffe und stoffge mische. Weinheim: Verlag Chemie. GMPH.
- Leach, H.W., McCowen, L.D., and Schoch, T.J. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chemistry. 36: 534-544.
- Leszczynski, W. 1987. New method for determination of starch gelatinization temperatures. Starch/Stärke. 39: 375-378.
- Leszczynski, W., and Golachowski, A. 1988. Comparison of potato starch gelatinization temperatures determined by different methods. Acta Alimentaria Polonica. 14 (2): 123-130.

- Liu, H., and Lelievre, J. 1993. A model of starch gelatinization linking differential scanning calorimetry and birefringence measurements. Carbohydrate Polymers. 20:1-5.
- MacMaster, M.M. 1964. Microscopic techniques for determining starch granule properties. In R.L.Whistler (ed.). Methods in carbohydrate chemistry. vol.4. pp. 233-240. New York: Academic Press.
- Mazur, E.D., Schoch, T.J., and Kite, F.E. 1957. Graphical analysis of the Brabender viscosity curves of various starches. Cereal Chemistry. 34(3): 141-152.
- Morris, V.J., and Miles, M.J. 1994. Birefringence techniques. In S.B. Ross-Murphy(ed.), Physical techniques for the study of food biopolymers. pp. 215-275. London: Chapman & Hall.
- Morrison, W.R., and Tester, R.F. 1994. Properties of damaged starch granules. IV. Composition of ball-milled wheat starches and of fractions obtained on hydration. Journal of Cereal Science. 20: 69-77.
- Morrison, W. R., Tester, R.F., and Gidley, M.J. 1994. Properties of damaged starch granules. II. Crystallinity, molecular order and gelatinisation of ball-milled starches. Journal of Cereal Science. 19: 209-207.
- Newport Scientific. 1995. Operation manual for the series 4 Rapid visco analyser. New South Wales.
- Park, J.K., Kim, S.S., and Kim, K.O. 2001. Effect of milling ratio on sensory properties of cook rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. Cereal Chemistry. 78(2): 151-156.
- Pomeranz, Y. 1985. Functional properties of food components. pp.25-64. Orlando: Academic Press.
- Pomeranz, Y., and Meloan, C.E. 1994. Food Analysis. 3 nd ed. pp.513-514. New York: Chapman & Hall.
- Robin,J.P., Mercier, C., Charbonniere, R., and Guilbot, J.A. 1974. Hydrolyzed starches, gel filtration, and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry. 51: 389-406.

- Sriroth, K., Wanlapatit, S., Piyachomkwan, K., and Oates, C.G. 1998. Improved cassava starch granule stability in the presence of sulphur dioxide. Starch/Stärke. 50(11-12): 466-473.
- Stevens, D.J., and Elton, G.A.H. 1971. Thermal properties of the starch/water system. I. Measurement of heat of gelatinization by Differential scanning calorimetry. Starch/Stärke. 23: 8-11.
- Swinkle, J.J.M. 1992. Differences between commercial native starches. AVEBE Ref.No. 05.00.02.102 EF. cited in Ellis, R.P., Cochrane, M.P. Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S., and Tiller, S.A. 1998. Starch production and industrial use. J. Sci. Food Agric. 77: 289-311.
- Tamaki, S., Hisamatsu, M., Teranichi, K., and Yamada, T. 1997. Structural change of potato starch granules by ball-mill treatment. Starch/Stärke. 49(11): 431-438.
- Tester, R.F., and Morrison, W.R. 1994. Properties of damaged starch granules. V. Composition and swelling of fractions of wheat starch in water at various temperatures. J. of Cereal Science. 20: 175-181.
- Thiewes, H.J., and Steeneken, P.A.M. 1997. Comparison of the Brabender viskograph and the Rapid visco analyser. 1. Statistic evaluation of the pasting profile. Starch/Stärke. 3: 85-92.
- Watson, S.A. 1964. Determination of starch gelatinization temperature. In R.L. Whistler (ed.), Methods in carbohydrate chemistry. vol.4. pp. 240-242. New York: Academic Press.
- Zobel, H.F. 1964. X-ray analysis of granule starches. In R.L. Whistler (ed.), Methods in carbohydrate chemistry. vol.4. pp. 109-113. New York: Academic Press.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของAOAC, 1990-925.10

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน WTE Binder รุ่น E53
2. desiccator

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2 g ให้น้ำหนักแน่นอนใส่ลงในภาชนะอะลูมิเนียมที่แห้งสนิท (อบในตู้อบที่อุณหภูมิ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่แล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมเปล่าเก็บไว้)
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชม.
3. นำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง
4. คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ(g)} - \text{น้ำหนักหลังอบ(g)}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ(g)}} \times 100$$

ก.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของAOAC, 1990-920.87

อุปกรณ์

1. เครื่องย่อย Gerhardt รุ่น Kjeldatherm
2. เครื่องกลั่น Gerhardt รุ่น Vapodest 1

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (H_2SO_4 , AR grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (HCl, AR grade) ความเข้มข้น 0.01 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, AR grade) ความเข้มข้น 50% (w/w)
4. สารละลายกรดบอริก (H_3BO_3 , AR grade) ความเข้มข้น 4% (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมของ Na_2SO_4 96% , CuSO_4 3.5% , SeO_2 0.5% (AR grade)
6. เมทิลเรด-โบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ (เป็นส่วนผสมของสารละลายเมทิลเรด 0.2% ในแอลกอฮอล์กับสารละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.2% ในแอลกอฮอล์อัตราส่วน 5 : 1)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g ให้น้ำหนักแน่นอนใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 g และเติม H_2SO_4 เข้มข้น 25 ml
3. ย่อยด้วยเครื่องย่อย โดยควบคุมอุณหภูมิในการย่อยในช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 250 °C เวลา 20 นาที และช่วงที่สองใช้อุณหภูมิ 380 °C เวลา 45 นาทีจนตัวอย่างใสเป็นสีฟ้าอ่อนแล้วย่อยต่ออีก 30 นาที
4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 25 ml
5. เติมสารละลายไทเตียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50 % จนสารละลายตัวอย่างเป็นสีน้ำตาล
6. ใส่สารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4% ใน flask ขนาด 250 ml ปริมาตร 60 ml และหยดอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด เพื่อรองรับสารที่กลั่นได้
7. กลั่นตัวอย่างจนขวดรองรับมีสารละลายปริมาตร 250 ml แล้วนำออกมาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ 0.01 N จนสารละลายถึงจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน
8. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน(\%)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดเกลือที่ไตเตรท(ml)} \times \text{ความเข้มข้นกรดเกลือ(N)} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีนในสตาร์ช(\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน(\%)} \times 6.25$$

ก. 3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของAOAC, 1990-920.85

อุปกรณ์

1. ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus) Gerhardt
2. ตู้อบลมร้อน WTE Binder รุ่น E 53
3. thimble

สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) จุดเดือด 40-60 °C

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2 g ให้น้ำหนักแน่นอนแล้วห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
2. ใส่ตัวอย่างลงใน thimble บรรจุลงในชุดสกัดไขมัน เติมปีโตรเลียมอีเธอร์ 200 ml ใน Soxhlet flask (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว)
3. ให้ความร้อนและควบคุมอัตราการกลั่น 3-4 หยดต่อวินาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

4. ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์ออกจากไขมันที่สกัดได้ โดยเปิดวาล์วให้ปิโตรเลียมอีเธอร์ที่ระเหยไหลไปรวมที่ขวดเก็บ
5. นำ Soxhlet flask ที่ปราศจากปิโตรเลียมอีเธอร์แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้ง Soxhlet flask ให้เย็นใน desiccator
7. ชั่งน้ำหนัก Soxhlet flask แล้วคำนวณหาปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)}}$$

ก.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของAOAC, 1990-923.03

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace) Fisher Scientific รุ่น ISOTEM
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2 g ให้น้ำหนักแน่นอน (± 0.0001 g) ใส่ใน crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
2. เผาตัวอย่างใน crucible ด้วยเตาให้ความร้อนจนเป็นเถ้าและหมดควันไฟ
3. นำตัวอย่างเข้าเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 °C จนได้เถ้าเป็นสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณหาปริมาณเถ้าโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังเผา (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)}}$$

ก.5 ค่า pH ตามวิธีของAOAC, 1990-943.02

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า pH (pH meter) HORIBA รุ่น F-21

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 20 g ละลายในน้ำกลั่น 100 ml
2. กวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที
3. วัดค่า pH ของสารละลายส่วนใดโดยใช้ pH meter

ก. 6 ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC, 1990-945.37

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดดัชนีการหักเหของแสง (Polarimeter) ATAGO รุ่น POLAX-D
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 33% เตรียมโดยชั่ง $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (AR grade) 437 g ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 L (ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20°C เท่ากับ 1.30) ปรับค่า pH ของสารละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 N ให้ได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อนๆ เมื่อแบ่งสารละลายมาทดสอบกับฟีนอล์ฟธาลีน
2. สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH , AR grade) ความเข้มข้น 0.8% (w/v)

วิธีวิเคราะห์

1. บดตัวอย่างสตาร์ชให้มีขนาดเล็กและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.0 g ใส่น้ำหนักแน่นอนใส่ขวดขนาด 250 ml จดน้ำหนักของตัวอย่างไว้
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml ละลายตัวอย่างแล้วเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 33% ปริมาตร 58 ml และสารละลายกรดอะซิติก 0.8% ปริมาตร 2 ml แล้วผสมให้เข้ากัน
3. นำสารละลายมาทำให้เดือดอย่างรวดเร็วโดยต้มบนตะแกรงลวดของเตาให้ความร้อน ใส่เม็ดลูกแก้วลงไปแล้วเขย่าตลอดเวลา ทำการต้มให้เดือดนาน 15 นาที
4. ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว โดยแช่ขวดผ่านน้ำประปา
5. เทสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml โดยล้างขวดด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml
6. ดูดตัวอย่างประมาณ 10 ml กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ส่วนแรกที่กรองได้ให้ทิ้งไป นำสารละลายตัวอย่างที่เหลือมากรองแล้วเก็บส่วนที่กรองได้ไว้ 40-50 ml
7. นำส่วนที่กรองได้ไปวัดค่า rotation ด้วยเครื่อง polarimeter โดยใช้หลอดขนาด 20 cm ทำการวัด 2 ครั้ง
8. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสตาร์ช โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณสตาร์ช (\% starch)} = \frac{100 \times R \times 100}{2 \times 203 \times W}$$

- เมื่อ R = observed angular rotation
 W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)
 203 = specific rotation ของสตาร์ช
 2 = ความยาวของหลอดเท่ากับ 20 cm หรือ 2dm

ก.7 ปริมาณอัมัยโลสและอัมัยโลเพกติน ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Jarvis และ Walker (1993) และ Juliano (1971)

ดัดแปลงโดยใช้ Iodine method ตามวิธีของ Juliano (1971) และใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 6 ความยาวคลื่น ตามวิธีของ Jarvis และ Walker (1993)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) JASCO รุ่น V-530
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

สารเคมี

1. อัมัยโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (standard potato amylose) ของบริษัท Sigma Chemical
2. อัมัยโลเพกตินบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (standard potato amylopectin) ของบริษัท Sigma Chemical
3. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน (I_2) 0.2000 g และโปตัสเซียมไอโอดัด (KI) 2.0000 g ในน้ำกลั่น 100 ml
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade) ความเข้มข้น 1 N
5. เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
6. สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH , AR grade) ความเข้มข้น 1 N

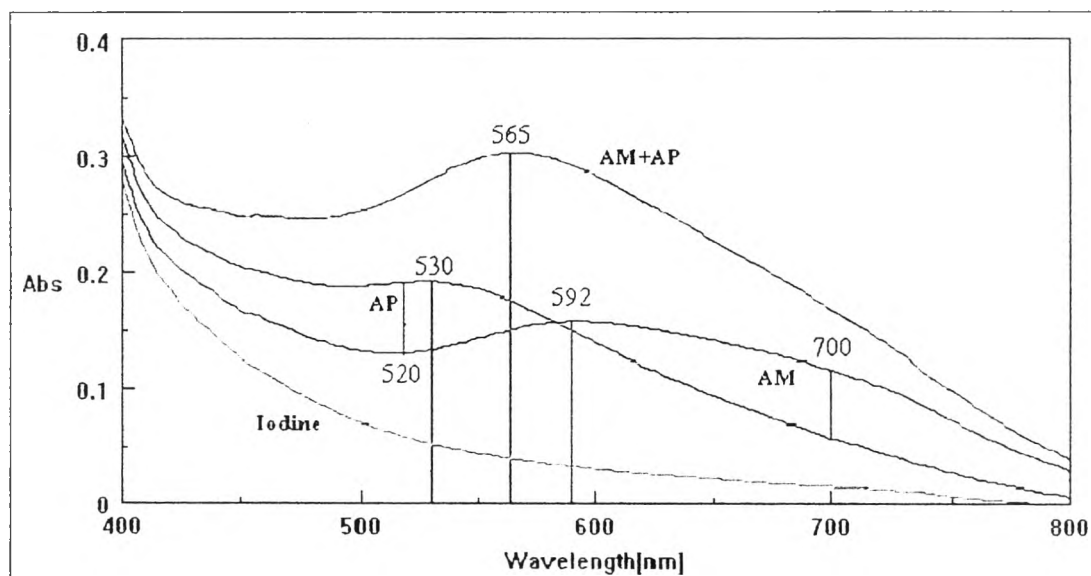
การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม

1. เตรียมสารละลาย 4 ชนิด ดังต่อไปนี้
 - iodine reagent blank (20 $\mu\text{g/ml}$)
 - 8 $\mu\text{g/ml}$ amylose
 - 32 $\mu\text{g/ml}$ amylopectin
 - 8 $\mu\text{g/ml}$ amylose และ 32 $\mu\text{g/ml}$ amylopectin ผสมอัตราส่วน 1:1 (v/v)

หมายเหตุ : วิธีเตรียมสารละลายดูได้จากการหาค่าabsorbitivity ของ standard amylose และ amylopectin ปริมาณที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ต้องการเตรียม

2. ใส่สารละลายที่เตรียมได้ลงในควอต 4 อัน
3. scan วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วง 400-800 นาโนเมตร

ตัวอย่างกราฟ :



ภาพที่ ก.1 การดูดกลืนแสงของไอโอดีน อมัยโลส อมัยโลเพกติน และส่วนผสมของอมัยโลสกับอมัยโลเพกติน ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

4. เลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากกราฟ ดังนี้
 - 520 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นของช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดของอมัยโลสและอมัยโลเพกติน โดยค่าการดูดกลืนแสงของอมัยโลเพกตินจะมีค่าสูงกว่าของอมัยโลส
 - 530 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่อมัยโลเพกตินดูดกลืนแสงได้สูงที่สุด
 - 565 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่สารละลายผสมระหว่างอมัยโลส : อมัยโลเพกตินเท่ากับ 20 : 80 ดูดกลืนแสงได้สูงที่สุด
 - 592 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่อมัยโลสดูดกลืนแสงได้สูงที่สุด
 - 700 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นของช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดของอมัยโลสและอมัยโลเพกติน โดยค่าการดูดกลืนแสงของอมัยโลสจะมีค่าสูงกว่าของอมัยโลเพกติน
 - 800 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่ค่าการดูดกลืนแสงของอมัยโลเพกตินเข้าใกล้ศูนย์

โดย	C_{am}	=	ค่าความเข้มข้นของอิมัลโลส ($\mu\text{g/ml}$)
	C_{ap}	=	ค่าความเข้มข้นของอิมัลโลเพกติน ($\mu\text{g/ml}$)
	Abs1	=	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ
	Abs2	=	ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่มีความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ
	E_{oam1}	=	ค่า absorptivity ของอิมัลโลสที่มีความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ
	E_{oam2}	=	ค่า absorptivity ของอิมัลโลสที่มีความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ
	E_{oap1}	=	ค่า absorptivity ของอิมัลโลเพกตินที่มีความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ
	E_{oap2}	=	ค่า absorptivity ของอิมัลโลเพกตินที่มีความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ

ใช้สมการทั้ง 2 สมการนี้ในการหาความเข้มข้นอิมัลโลสและอิมัลโลเพกติน โดยการจับคู่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งจะได้ 15 สมการ จากทั้งหมด 6 ความยาวคลื่น แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละสมการมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอิมัลโลสและอิมัลโลเพกตินที่แท้จริง

ก.8 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ SEM

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) JEOL รุ่น JSM-5800 LV
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) Balzers Union รุ่น SCD 040

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างสตาร์ชติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว
2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 nm ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V sputter coater
3. ศึกษาพร้อมกับการบันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ควบคุมที่ 20 kV

ก.9 ลักษณะ birefringence โดยใช้ microscopic method ตามวิธีของ MacMaster (1964)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (microscope) OLYMPUS รุ่น BX50
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพ (exposure control) OLYMPUS รุ่น Genesys 5
3. แผ่นฟิล์มโพลารอยด์ (polaroid film sheet)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายยาลีเซอร์รีนและน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วหยดลงบนสไลด์ 1-2 หยด

2. นำตัวอย่างสสารมาละลายกับสารละลายข้อ 1 บนสไลด์ให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดสสารพอดีกับการถ่ายภาพ
3. ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุดแล้วเห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า
4. ปรับเลนส์สไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการและปรับความคมชัดของภาพโดยดูที่กล้องถ่ายภาพ
5. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการถ่ายภาพเป็นแบบ auto แล้วใส่ฟิล์มที่ต้องการใช้ถ่ายภาพเข้ากับกล้อง
6. ทำการถ่ายภาพเม็ดสสารภายใต้แสงปกติ เสร็จแล้วให้นำแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่น วางปิดบนสไลด์หรือกั้นระหว่างสไลด์กับกล้องถ่ายภาพ
7. หมุนแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์ที่วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำจะทำให้เห็นลักษณะ birefringence ของเม็ดสสาร
8. ปรับความคมชัดของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดสสารภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์
9. นำภาพเม็ดสสารที่ได้จากการถ่ายภาพภายใต้แสงปกติเปรียบเทียบกับแสงโพลาไรซ์

ก.10 ศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสสาร โดยใช้ X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964)

อุปกรณ์

1. X-ray diffractometer JOEL รุ่น JDX-8030

วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างสสารโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสสารเรียงตัวอัดกันแน่น
2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง X-ray diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที
3. สั่งให้เครื่องทำงานและวัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Target :	Cu
KV :	45.0 kV
MA:	35.0 mA

Start angle : 2.00 deg.
 Stop angle : 45.00 deg.
 Step angle : 0.010 deg.
 M.time : 1.50 sec

ก.11 เม็ดสตาร์ชที่เสียหาย (starch damage) โดยใช้ spectrophotometer ตามวิธีของ AACC , 1995 method 76-31

อุปกรณ์

1. เครื่อง centrifuge, Heraeus CHRIST รุ่น Medifuge
2. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) JASCO รุ่น V-530
3. อ่างควบคุมอุณหภูมิ Julabo รุ่น SW 23

สารเคมี

1. sodium acetate buffer (100mM, pH 5.0) ที่มี CaCl_2 5.0 mM เตรียมโดยเติม glacial acetic acid (ความหนาแน่น 1.05g/ml) 5.7 ml ใส่ลงในน้ำกลั่น 900 ml ปรับ pH เป็น 5.0 โดยเติม NaOH 2 M ซึ่งจะใช้ประมาณ 60 ml เติม $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.74 g คนให้ละลายแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 ml เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C
2. สารละลาย sulfuric acid 0.2 %v/v เตรียมโดยเติม sulfuric acid เข้มข้น 2.0 ml ลงในน้ำกลั่น 998 ml เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
3. glucose standard solution (150 μg /0.1ml) เตรียมโดยชั่ง glucose 150 mg แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น
4. glucose reagent buffer (concentrate) (50ml) เตรียมโดยใช้สาร 1 ขวดจากชุด kit เจือจางเป็น 1 L ด้วยน้ำกลั่น

เอนไซม์

1. เอนไซม์ fungal α -amylase จาก *Aspergillus oryzae* (1000 U/ml ใน ammonium sulfate 3.2 M) เตรียมโดยนำเอนไซม์ มา 1.0 ml ทำเป็น 20 ml ด้วย sodium acetate buffer 100 mM
2. เอนไซม์ amyloglucosidase จาก *Aspergillus niger* (200 U/ml ใน ammonium sulfate 3.2 M) เตรียมโดยนำเอนไซม์ มา 1.0 ml ทำเป็น 10 ml ด้วย sodium acetate buffer 100 mM

3. เอนไซม์ glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) ที่มี glucose oxidase 12,000 units, peroxidase 650 units และ 4-aminoantipyrine 0.4 mM เตรียมโดยนำ เอนไซม์ 1 ขวดจากชุด kit มาเจือจางด้วย glucose reagent buffer ปริมาตร 1 L

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 100 ± 0.1 mg ให้น้ำหนักแน่นอน ใส่ในหลอด centrifuge ขนาด 12 ml
2. นำไปตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 2-5 นาที
3. เติมเอนไซม์ fungal α -amylase (pre-incubate ไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ อุณหภูมิ 40°C 5-10 นาที) ลงไป 1.0 ml เริ่มจับเวลา
4. นำหลอดทดลองไปผสมด้วย vortex mixer ทันที เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อป้องกันมิให้ ตัวอย่างจับตัวเป็นก้อน
5. นำหลอดทดลองไปตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 นาที
6. เติมสารละลาย sulfuric acid 0.2%v/v 5 ml เพื่อหยุดปฏิกิริยา
7. นำไป centrifuge ที่ 3,000 rpm (1000xg) เป็นเวลา 5 นาที
8. ดูดส่วนใสมาใส่ในหลอดทดลอง 2 หลอด ๆ ละ 0.1 ml
9. เติมสารละลายเอนไซม์ amyloglucosidase 0.1 ml ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด นำไปตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 นาที
10. เติมเอนไซม์ glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) 4.0 ml ลงในหลอดทดลอง แต่ละหลอด นำไปตั้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 20 นาที
11. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 510 nm และในการทำแต่ละครั้งจะต้องทำ reagent blank และ glucose standard ดังนี้
reagent blank คือ acetate buffer 0.2 ml + GOPOD 4.0 ml
glucose standard คือ acetate buffer 0.1 ml + glucose standard solution 0.1 ml + GOPOD 4.0 ml

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \% \text{ starch damage} &= \frac{\Delta E \times F \times 60 \times 1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \\ &= \frac{\Delta E \times F \times 5.4}{W} \end{aligned}$$

เมื่อ ΔE = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเมื่อวัดเทียบกับ reagent blank

$$F = \frac{150 \mu\text{g ของ glucose}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของ glucose } 150 \mu\text{g}}$$

$$60 = \text{volume correction (ดูดสารละลายในข้อ 8 มา 0.1 ml จากทั้งหมด 6.0 ml)}$$

$$\frac{1}{1000} = \text{conversion จาก } \mu\text{g เป็น mg}$$

$$W = \text{น้ำหนัก (mg) ของตัวอย่างสตาร์ชที่ใช้}$$

$$\frac{100}{W} = \text{factor แสดง starch damage เป็น \% weight starch}$$

$$\frac{162}{180} = \text{เป็นค่าที่ปรับจาก free glucose (MW = 180) เป็น anhydro glucose (MW = 162)}$$

ก.12 การดูดซับน้ำ ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Bencini (1986)

ดัดแปลงโดยลดน้ำหนักตัวอย่างให้น้อยลงจากเดิม 2 g เป็น 0.8 g

อุปกรณ์

1. หลอด centrifuge พลาสติกขนาด 10 ml
2. vortex mixer
3. เครื่อง centrifuge, Heraeus CHRIST รุ่น Medifuge

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักสตาร์ช 0.8 g ใส่น้ำหนักแน่นอนลงในหลอด centrifuge ขนาด 10 ml
2. เติมน้ำกลั่น 10 ml
3. เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 10 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที
4. นำไป centrifuge ที่ 2208Xg เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
5. เทน้ำออกและชั่งน้ำหนักน้ำที่เทออกได้ คำนวณค่าการดูดซับน้ำจาก

$$\text{การดูดซับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชที่ดูดซับน้ำ (g)} - \text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (g)}}$$

ก.13 กำลังการพองตัวและร้อยละของการละลาย (swelling power and %solubility) ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Leach และคณะ (1959)

ดัดแปลงโดยใช้แท่งแก้วคนแทนการใช้เครื่องกวน

อุปกรณ์

1. Refrigerated centrifuge, Heraeus CHRIST รุ่น VARIFUGE K
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ MGW Lauda รุ่น MS/2

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักสาร 1-10 g ให้น้ำหนักแน่นอนใส่ในกระบอก centrifuge เติมน้ำกลั่น 180 ml
2. ใส่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิตามอุณหภูมิที่ต้องการ ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับคนด้วยแท่งแก้วอย่างสม่ำเสมอ
3. เปิดกระบอก centrifuge ด้านนอกให้แห้ง วางลงบนเครื่องชั่ง ใส่น้ำกลั่นลงไปจนได้น้ำหนักรวม 200 g คนให้เข้ากัน
4. นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ที่ $700\times g$ 30 นาที
5. ใช้ปิเปตดูดส่วนใสใสขวดรูปชมพู่จนเหลือส่วนใสสูงกว่าระดับสารเปียก $\frac{1}{4}$ นิ้ว
6. นำส่วนใสไประเหยน้ำออก แล้วอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ คำนวณค่าร้อยละของการละลายได้จาก

$$\text{ร้อยละของการละลาย(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของส่วนใส}(g) \times 100}{\text{น้ำหนักสารแห้ง}(g)}$$

7. ดูดน้ำที่เหลืออยู่บนสารเปียกในกระบอก centrifuge ออกให้มากที่สุด หาน้ำหนักของสารเปียกที่ได้ คำนวณค่ากำลังการพองตัวได้จาก

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักสารเปียก}(g)}{\text{น้ำหนักสารแห้ง}(g)}$$

ก.14 สมบัติทางความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่อง Brabender viscograph ตามวิธีของ Thiewes และ Steeneken (1997)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Brabender viscograph (BRABENDER [®] OHG DUISBURG รุ่น Viscograph PT 100) และคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่องโดยใช้โปรแกรม viscograph correlation version 3.5 และโปรแกรม viscograph loader version 5.0 สำหรับวิเคราะห์ผล

2. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BA 4100S)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารแขวนลอยของตัวอย่างในน้ำกลั่น โดยสตาร์ชมันฝรั่งใช้ 4 % และสตาร์ชมันสำปะหลังใช้ 6 % โดยน้ำหนักแห้ง โดยชั่งสตาร์ชใส่ปิ๊กเกอร์แล้วเติมน้ำกลั่นให้น้ำหนักรวม 460 ± 0.05 g
2. ใช้แท่งแก้วคนให้ละลายก่อนเทลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง (bowl) ของเครื่องซึ่งประกอบด้วยตัวเครื่องแล้ว
3. ประกอบเครื่อง เปิดน้ำหล่อเย็น และให้เครื่องเริ่มทำงาน
4. ปรับสถานะของเครื่องดังนี้ให้เครื่องกวนด้วยอัตราเร็ว 75 รอบต่อนาที(ใช้ cartridge 700 cmg) และตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิดังนี้
 - เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 1.5°C ต่อนาที จาก 50°C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 95°C
 - คุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95°C ใวนาน 20 นาที
 - ลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 1.5°C ต่อนาที จาก 95°C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 50°C
 - คุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 50°C ใวนาน 17 นาที
5. นำกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ผล

ก.15 สมบัติทางความหนืดเมื่อวัดด้วยเครื่อง Rapid visco analyser (RVA) ตามวิธีของ Thiewes และ Steeneken (1997)

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Newport Scientific Pty, Ltd. รุ่น 3d) และคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA โดยใช้โปรแกรม Thermocline for Windows version 1.2 สำหรับวิเคราะห์ผล
2. aluminium can ที่มีใบพัด (paddle)
3. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง Sartorius รุ่น BA 4100S

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารแขวนลอยของตัวอย่างสตาร์ชในน้ำกลั่น โดยสตาร์ชมันฝรั่งใช้ 4% และสตาร์ชมันสำปะหลังใช้ 6% โดยน้ำหนักแห้งโดยการชั่งตัวอย่างสตาร์ชที่แน่นอน (± 0.01 g) ใส่ลงใน aluminium can เติมน้ำกลั่นให้มีน้ำหนักรวม 27.50 ± 0.01 g
2. ใช้แท่งแก้วคนให้ละลาย ใส่ใบพัดลงใน can หมุนใบพัดไปมาแรง ๆ เพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับตัวเป็นก้อน หรือติดอยู่ที่ใบพัด

3. นำ can ที่ใส่ใบพัดแล้วสอดเข้าในเครื่อง RVA กดมอเตอร์ของ tower ลงเพื่อให้เครื่อง RVA ทำงานโดยเลือกใช้ profile standard 1 ซึ่งมีสภาวะในการทำงานดังนี้
 - ความเร็วในการกวนมอเตอร์ 10 วินาทีแรก 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นลดลงมาอยู่ที่ 160 รอบต่อนาทีจนสิ้นสุดการทดลอง
 - เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 °C คงไว้ 1 นาที
 - เพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 12.2 °C ต่อนาที จาก 50 °C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 95 °C
 - คมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 °C ใ้นาน 2.5 นาที
 - ลดอุณหภูมิด้วยอัตรา 12.2 °C ต่อนาที จาก 95 °C จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 50 °C
 - คมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 50 °C ใ้นาน 2.1 นาที
4. นำกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ผล

ก.16 สมบัติทางความร้อนเมื่อวัดด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Kim และคณะ (1995)

ดัดแปลงโดยใช้อัตราส่วนสารแห้ง : น้ำ = 1 : 2 จากเดิมใช้สารแห้ง : น้ำ = 3 : 7

อุปกรณ์

1. เครื่อง DSC ของ Perkin – Elmer รุ่น DSC-7
2. aluminium pan no. 0219 – 0062 ของ Perkin – Elmer และอุปกรณ์สำหรับปิดฝา
3. micropipette

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งสาร (ทราบค่าความชื้นแล้ว) 3 mg ให้น้ำหนักแน่นอนใส่ลงใน aluminium pan
2. เติมน้ำกลั่นลงใน pan ด้วย micropipette โดยใช้อัตราส่วนสารแห้ง : น้ำ = 1 : 2
3. ปิดฝา pan ให้แน่น บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืนเพื่อให้เกิดความสมดุล
4. นำ pan ที่บรรจุตัวอย่างและน้ำใส่ลงในช่อง sample ของเตาเครื่อง DSC และวาง pan เปล่าในช่อง reference โดยใช้ profile อุณหภูมิ 40 – 110 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาที และใช้สาร indium ในการทำ calibration
5. คำนวณค่าทางความร้อนโดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตีในเซชันดังนี้
 - อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (onset temperature, To)
 - อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (peak temperature, Tp)
 - อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตีในเซชัน (conclusion temperature, Tc)
 - พลังงานที่ถูกดูดกลืนในระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน (enthalpy, ΔH (J/g))



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งที่เสียหายที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS
ระยะเวลา	4	164.132*
Error	10	0.929

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละของเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังที่เสียหายที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS
ระยะเวลา	4	618.450*
Error	10	0.109

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS
ระยะเวลา	4	187.181*
Error	10	0.024

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการดูดซับน้ำของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS
ระยะเวลา	4	72.087*
Error	10	0.028

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
ระยะเวลา	4	101.436*	2.880	61.071*	92.993*
Error	10	0.389	0.965	2.564	9.701

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
ระยะเวลา	4	15.741*	2.486*	4.424*	0.674
Error	10	0.069	0.093	0.290	0.312

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
ระยะเวลา	4	6.046*	3.445*	9.055*	1.455
Error	10	0.011	0.131	0.324	1.786

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการละลายที่อุณหภูมิ 55 °C, 65 °C, 75 °C และ 85 °C ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		55 °C	65 °C	75 °C	85 °C
ระยะเวลา	4	10.326*	6.387*	2.216*	8.894*
Error	10	0.008	0.204	0.210	0.313

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน (GTEMP), เวลาที่เริ่มเกิดเจลลิตีในเซชัน (GTIME), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่อง Brabender viscograph ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS				
		GTEMP	GTIME	PTEMP	PTIME	PEAK
ระยะเวลา	4	9.251*	3.973*	4.458*	2.003*	21108.933*
Error	10	0.027	0.005	0.995	0.506	85.400

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 95 °C 20 นาที, ที่ 50 °C, ที่ 50 °C 17 นาที, Breakdown และ Setback วัดจากเครื่อง Brabender viscograph ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS					
		95 °C	95 °C 20 นาที	50 °C	50 °C 17 นาที	Breakdown	Setback
ระยะ เวลา	4	11795.567*	1105.767*	681.567*	483.233*	12953.233*	15218.233*
Error	10	44.667	10.267	31.667	34.000	64.067	67.267

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน (GTEMP), เวลาที่เริ่มเกิดเจลลิตีในเซชัน (GTIME), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME), และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่อง Brabender viscograph ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS				
		GTEMP	GTIME	PTEMP	PTIME	PEAK
ระยะเวลา	4	4.701*	2.079*	0.456	0.215	957.833*
Error	10	0.006	0.002	0.527	0.207	37.200

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 95 °C 20 นาที, ที่ 50 °C, ที่ 50 °C 17 นาที, Breakdown และ Setback วัดจากเครื่อง Brabender viscograph ของสตาร์ซมันส์ปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS					
		95 °C	95 °C 20 นาที	50 °C	50 °C 17 นาที	Breakdown	Setback
ระยะเวลา	4	146.233*	30.500*	58.400	84.900*	707.833*	659.233*
Error	10	14.467	5.333	17.800	18.200	19.667	26.600

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลลิตีในเซชัน (GTEMP), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME), และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่อง RVA ของสตาร์ซมันส์ฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		GTEMP	PTEMP	PTIME	PEAK
ระยะเวลา	4	2.931*	0.406	0.045*	680.470*
Error	10	0.356	0.209	0.010	10.283

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 50 °C, ความหนืดสุดท้าย (50 °C 2.1 นาที), Breakdown และ Setback วัดจากเครื่อง RVA ของสตาร์ซมันส์ฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS				
		95 °C	50 °C	50 °C 2.1 นาที	Breakdown	Setback
ระยะเวลา	4	557.276*	127.984*	116.117*	254.388*	270.737*
Error	10	13.491	3.055	2.827	5.180	7.858

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาตินเซชัน (GTEMP), อุณหภูมิที่ความหนืดสูงสุด (PTEMP), เวลาที่ความหนืดสูงสุด (PTIME) และค่าความหนืดสูงสุด (PEAK) วัดจากเครื่อง RVA ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		GTEMP	PTEMP	PTIME	PEAK
ระยะเวลา	4	4.907*	2.321*	0.016*	15.240*
Error	10	0.095	0.332	0.002	0.535

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนืดที่ 95 °C, ที่ 50 °C, ความหนืดสุดท้าย (50 °C 2.1 นาที), Breakdown และ Setback วัดจากเครื่อง RVA ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS				
		95 °C	50 °C	50 °C 2.1 นาที	Breakdown	Setback
ระยะเวลา	4	20.399*	6.130*	12.648*	3.532*	4.137*
Error	10	0.240	0.887	0.240	0.486	1.028

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ที่วัดจากเครื่อง DSC ของสตาร์ชมันฝรั่งที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		T_o	T_p	T_c	ΔH
ระยะเวลา	4	17.019*	4.715*	2.618*	25.676*
Error	10	0.092	0.052	0.618	0.210

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ที่วัดจากเครื่อง DSC ของสตาร์ชมันสำปะหลังที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS			
		T_o	T_p	T_c	ΔH
ระยะเวลา	4	44.281*	2.338*	2.097*	5.723*
Error	10	0.158	0.045	0.296	0.320

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งที่วัดจาก %ความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS					
		98%	95%	90%	80%	70%	60%
ระยะเวลา	4	51.936*	36.244*	26.834*	18.039*	13.470*	10.141*
Error	10	1.007	0.705	0.541	0.469	0.385	0.341

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ข.19(ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาติโนเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งที่วัดจาก %ความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาในการไม่ต่างกัน

SOV	df	MS		
		50%	40%	30%
ระยะเวลา	4	8.616*	8.052*	7.798*
Error	10	0.329	0.338	0.381

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

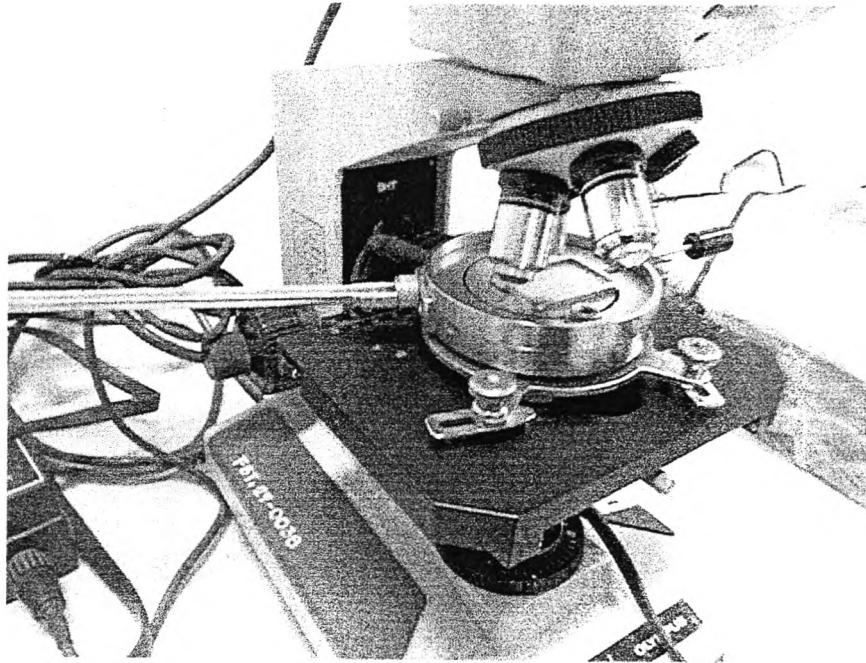
ตารางที่ ข.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิเจลาตินเซชันของสตาร์ชมัน
สำหรับหลังที่วัดจาก %ความเข้มแสงที่ลดลงเมื่อวัดด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นที่ระยะเวลาใน
การไม่ต่างกัน

SOV	df	MS					
		98%	95%	90%	80%	70%	60%
ระยะเวลา	4	11.091*	8.257*	6.031*	3.732*	3.044*	2.452*
Error	10	0.611	0.450	0.307	0.257	0.272	0.312

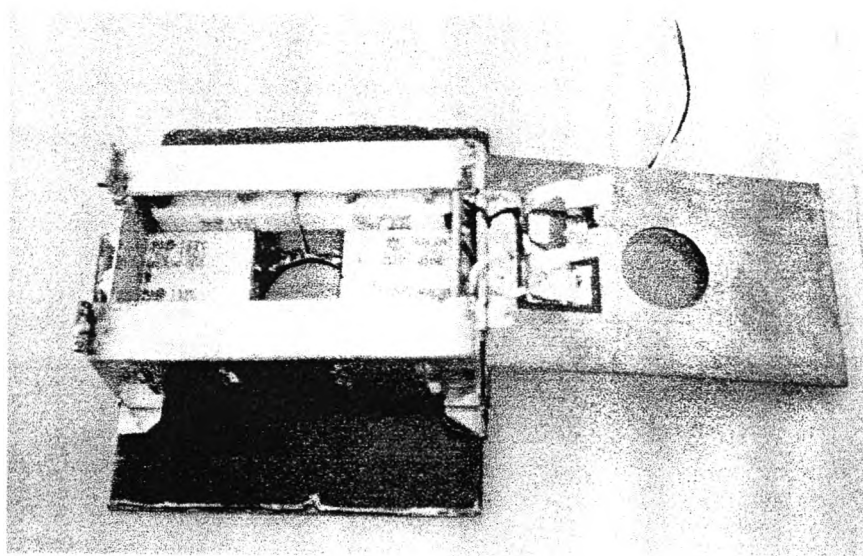
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาคผนวก ค

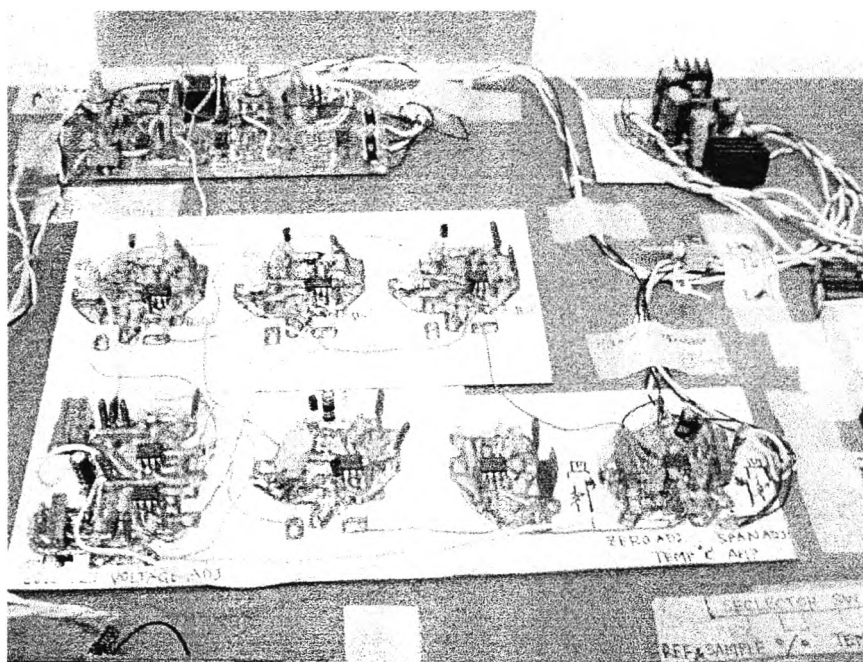
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย



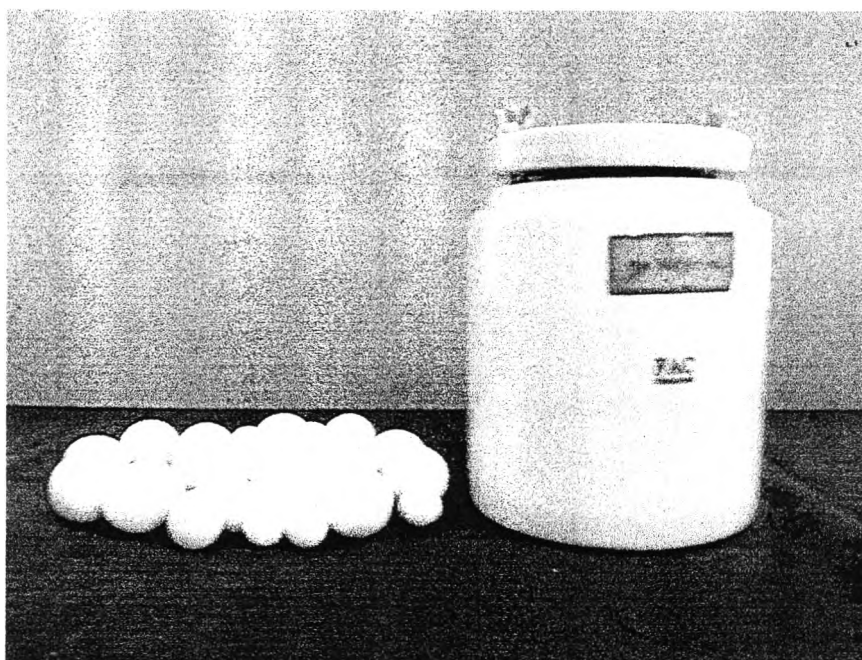
ภาพที่ ค.1 Kofler hot stage microscope



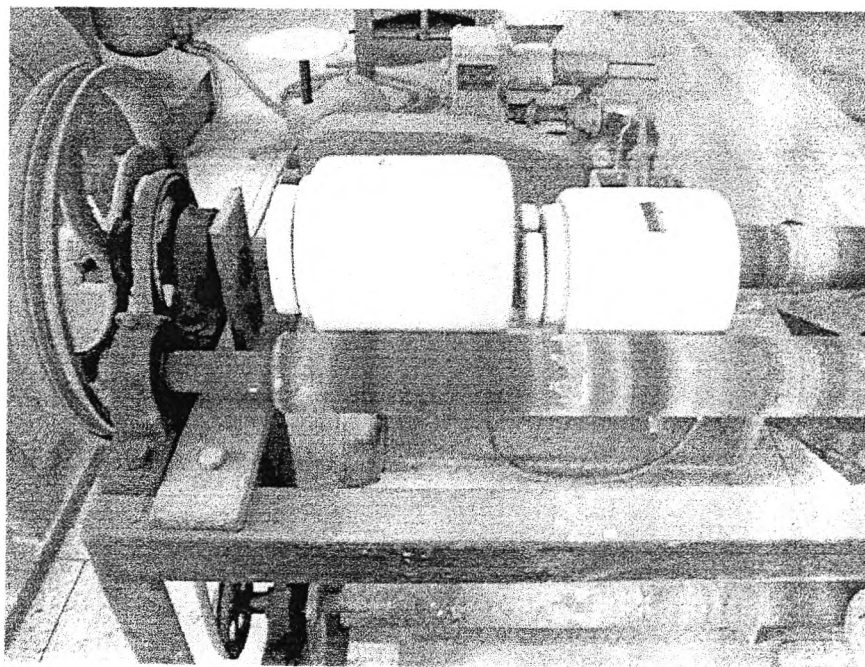
ภาพที่ ค.2 อุปกรณ์ให้ความร้อนแก่แผ่นสไลด์สารแขวนลอยสตาร์ช



ภาพที่ ค.3 วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดอุณหภูมิและความเข้มแสง



ภาพที่ ค.4 หม้อบดและลูกบอลสำหรับทำ ball mill



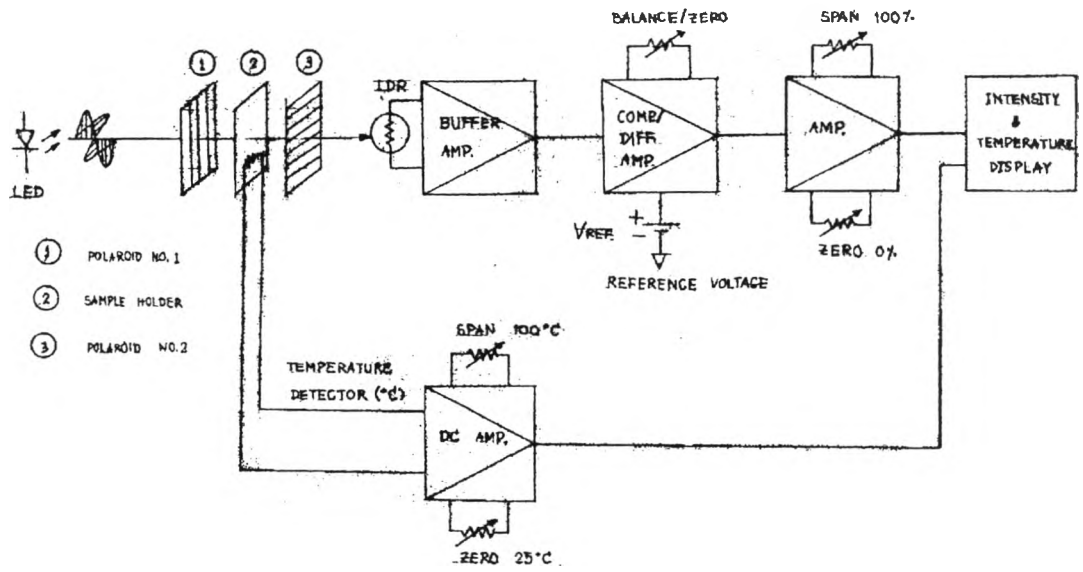
ภาพที่ ค.5 ร่างสำหรับไม้สตา์ชด้วย ball mill

ภาคผนวก ง

หลักการการทำงานของวงจรวัด %ความเข้มแสงและวัดอุณหภูมิ

แหล่งกำเนิดแสงเป็นอุปกรณ์ light emitting diode (LED) เปล่งแสงในช่วง visible light ในช่วงความถี่แคบ ๆ (narrow band) ส่งมายังแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 1, แผ่นสไลด์ของสารแขวนลอยสตาร์ชที่อยู่ใน sample holder และแผ่นโพลารอยด์แผ่นที่ 2 โดยที่แผ่นโพลารอยด์ทั้งสองแผ่นจะวางตัวในแนวระนาบที่ตั้งฉากกัน แสงสว่างที่ส่องผ่านออกมาจะตรงไปยังอุปกรณ์รับแสง light dependent resistor (LDR) โดยที่ LDR มีค่าความต้านทานแปรผกผันกับความเข้มแสงที่ได้รับ แล้วส่งต่อไปยัง Buffer amplifier circuit ซึ่งเป็นวงจรรับแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทานของอุปกรณ์ LDR โดยส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้ต่อไปยัง Comparator หรือ Differential amplifier ซึ่งจะเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับมากับค่าแรงดันอ้างอิงคือ 6 volts (Reference Voltage, V_{ref}) สัญญาณ output ของวงจรมีจะถูกส่งต่อไปยังวงจร amplifier ที่สามารถปรับค่า span ที่ความเข้มแสงเป็น 100% ในกรณีที่แสงจากแหล่งกำเนิดส่องผ่านสารแขวนลอยสตาร์ชที่อยู่ใน sample holder และปรับค่า zero ที่ความเข้มแสงเป็น 0% ในกรณีที่ปิดหรือบังแสงด้วยแผ่นกระดาษสีดำไว้ วงจร display จะอ่านค่าความเข้มแสงได้ 100% และ 0% ตามลำดับ เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ชที่อยู่ใน sample holder จนกระทั่งสตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันและสูญเสียลักษณะ birefringence ความเข้มแสงที่ส่องผ่านมายังตัวรับแสง (LDR) จะลดลง ค่าความต้านทานของ LDR จึงเพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันไฟฟ้าในวงจร Comperator หรือ Different amplifier มีค่าต่ำกว่า V_{ref} โดยค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำลงจะถูกเปรียบเทียบเป็น %ของ V_{ref} และแสดงผลออกมาที่วงจร display

อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ (temperature detector) ใช้ไดโอดที่ถูกผ่านด้วยกระดาษทรายให้มีผิวแบนเรียบติดกับแผ่นสไลด์ของสารแขวนลอยสตาร์ช เพื่อให้มีผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไดโอดและสตาร์ชน้อยที่สุด สัญญาณไฟฟ้าที่เกิดคร่อมระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของไดโอดนี้จะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะถูกนำเข้าไปยังวงจร DC amplifier ที่สามารถปรับ span ให้อ่านค่าอุณหภูมิที่วงจร display ได้ 100°C และปรับ zero ให้อ่านได้ 25°C สำหรับ block diagram circuit ที่ใช้วัด %ความเข้มแสงและอุณหภูมิของสารแขวนลอยสตาร์ชแสดงดังภาพที่ ง.1



ภาพที่ ง.1 Block diagram circuit สำหรับวัด %ความเข้มแสงและอุณหภูมิ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว กรวิกา ฉิมโสม เกิดวันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 2 จากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 และได้เริ่มงานกับบริษัทผู้ผลิตฟู้ดส์ จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่ง Quality control และ Research & Development supervisor เป็นเวลา 2 ปี และได้ลาออกจากงานเพื่อศึกษาต่อปริญญาโทที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2541

