



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- การวิจัย, กอง. 2513. พืชเส้นใย วัตถุประสงค์สำหรับผลิตเยื่อกระดาษ. กรมวิทยาศาสตร์บริการ.
กรกฎาคม: 1-14.
- จุฬารัตน์ เลิศบวรวงศ์. 2533. การผลิตและการใช้ประโยชน์สารโพลีแซคคาไรด์จาก
แบคทีเรียเป็นสารให้ความคงตัว. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรทวี พึ่งรัศมี และ อรัญ หาญสืบสาย. 2537. สารนำรู้เรื่องกระดาษพิมพ์. กรุงเทพฯ:
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางภาพถ่ายและเทคโนโลยีทางการพิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. หน้า 71-82.
- มยุรี ภาคกล้าเจียก และ อมรรัตน์ สวัสดิ์หัต. 2533. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ.
กรุงเทพฯ: ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
ประเทศไทย. หน้า 131-140.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2529. วิธีวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้
กับอาหาร, มอก. 656. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2533. กระดาษพิมพ์และเขียน, มอก. 287.
กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สมคิด ธรรมรัตน์. 2531. การผลิตวุ้นน้ำมะพร้าวและการแปรรูป. วารสารอาหาร 18(4) :
250-262.
- สมชาติ รุ่งอินทร์. 2528. ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบเยื่อและกระดาษ
และคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงานวิเคราะห์ทดสอบ. กรุงเทพฯ: ห้องปฏิบัติการเยื่อ
และกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

ภาษาอังกฤษ

- Alaban, C.A. 1962. Studies on the optimum condition for nata de coco bacterium or nata
formation in coconut water. Phil. J. Agric. 45(9): 490-516.

- Aloni, Y., and Benziman, M., 1982. Intermediates of cellulose synthesis in *Acetobacter*. In R.M., Brown, Jr. (ed.), Cellulose and Other Natural Polymer Systems, pp. 341-361. New York: Plenum Press.
- Amemura, A., Hashimoto, T., Koizumi, K., and Utamura, T. 1985. Occurrence of extracellular (1-2)- β -D-glucans and (1-2)- β -D-gluco-oligosaccharides in *Acetobacter*. J. Gen. Microbial. 131: 301-307.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1971. Annual Books of ASTM Standards. Part 20 Paper; Packaging; Business Copy Products. Philadelphia: American Society for Testing and Materials. p. 782-789.
- _____. 1980. Annual Books of ASTM Standards. Part 20 Paper; Packaging; Business Copy Products. Philadelphia: American Society For Testing and Materials. p. 464-475.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1984. Official Methods of Analysis. 14th ed. Virginia: The Association of Official Analytical Chemists.
- Battista, O. A., and Smith, P. A. 1962. Microcrystalline cellulose. Ind. Eng. Chem. 54(9): 20-29.
- Battista, O. A. 1975. Microcrystalline celluloses. In Microcrystal Polymer Science. New York: McGraw-Hill Book Company. p. 18-57.
- Blackwell, J., and Marchessault, R.H. 1971. Part IV. In N.M. Bikales., and L. Segal. (eds.), Cellulose and Cellulose Derivatives, pp. 1. New York: Wiley-Interscience.
- _____, Kolpak, F.J., and Gardner, K.H. 1977. In J.C. Arthur. (ed.), Cellulose Chemistry and Technology, pp. 42. Washington: America Chemistry Society.
- Blanshard, J.M.V., and Mitchell, J.R. 1978. Polysaccharide in Food. London: Butterworth.
- Brandon, C.E. 1981. Properties of paper. In J.P. Casey. (ed.), Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, pp. 1715-1972. Vol. 3 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Brown, D.E. 1983. Lignocellulose hydrolysis. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 300: 305-322.

- Brown, R.M., Jr., Willison, J.H.M., and Richardson, C.L. 1976. Cellulose biosynthesis in *Acetobacter xylinum*: Visualization of the site of synthesis and direct measurement of the *In vivo* process. Pro. Natl. Acad. Sci. USA. 72: 4565.
- Cannon, R.E., and Anderson, S.M. 1991. Biogenesis of bacterial cellulose. Microbiol. 17 (6): 435-447.
- Colvin, J.R. 1972. The biosynthesis of cellulose. CRC Crit. Rev. Macromol. Sci. 1:47-81.
- _____, Chene, L., Sowden, C., and Takai, M. 1977. Purification and properties of a soluble polymer of glucose from cultures of *Acetobacter xylinum*. Can. J. Biochem. 55: 1057-1063.
- Cowling, E.B., and Kirk, T.K. 1976. Properties of cellulose and lignocellulose materials as substrates for enzymatic conversion process. Biotech. Bioeng. Symp. (6): 95-123.
- Delmer, D.P. 1983. Biosynthesis of cellulose. Adv. Carbohydr. Chem. Biochem. 41: 105-153.
- Flory, P.J. 1953. Principle of Polymer Chemistry. London: Cornell University Press. 672 p.
- Fontana, J.D., De Souza, A.M., Fontana, C.K., Torriani, I.L., Moreschi, J.C., Gallotti, B.J., De Souza, S.J., Narcisco, G.P., Bichara, J.A., and Farah, L.F.X. 1990. *Acetobacter* cellulose pellicle as a temporary skin substitute. Appl. Biochem. and Biotech. 24 (25): 253-264.
- Goodwin, T.W., and Mercer, E.I. 1972. Introduction to Plant Biochemistry. Oxford: Bergamon.
- Haigler, C.H., and Benziman, M. 1982. Biogenesis of cellulose I microfibrils occurs by cell-directed self-assembly in *Acetobacter xylinum*. In R.M. Brown, Jr., (ed.), Cellulose and Other Natural Polymer Systems, chap. 14. New York: Plenum Press.
- Hestrin, S., and Shramm, M., 1954. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum* : preparation of freeze dried cells capable of polymerizing glucose to cellulose. Biochem. J. 58: 345-352.
- Heuser, E. 1944. The Chemistry of Cellulose. New York: John Wiley & Sons Inc.

- Honeyman, J. 1959. Recent Advances in the Chemistry of Cellulose and Starch.
New York: Interscience Publishers, Inc. p. 160.
- Howsmans, J.A., and Sisson, W.A. 1954. Cellulose and Cellulose Derivatives. 2nd ed.
New York: Interscience Publishers, Inc. p. 244.
- Hurterbise, F.G., and Krassig, H. 1960. Classification of fine structural characteristics of
cellulose by infrared spectroscopy. Anal. Chem. 32: 2405-2414.
- International Organization for Standardization (ISO). 1976. International Standard ISO 536.
Switzerland: The International Organization for Standardization.
- _____. 1977. International Standard ISO 2470. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- _____. 1980. International Standard ISO 5269/2. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- _____. 1983. International Standard ISO 2758. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- _____. 1988. International Standard ISO 534. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- _____. 1990. International Standard ISO 1974. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- _____. 1994. International Standard ISO 1924/2. Switzerland: The International Organization
for Standardization.
- Kaushal, R., and Walker, T.K. 1951. Formation of cellulose by certain species of
Acetobacter. Biochem. J. 48: 618-621.
- Kitamura, N., and Katsura, T. 1989. Preparation of sheet substrates containing bacterial
cellulose additives. JP Patent 01,156,600.
- Kleinert, T.N. 1985. Cellulose. In H.F. Mark, D. F. Othmer, C.G. Overberger, and
G.T. Seaborg, (eds.), Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, pp. 70-88.
Vol. 5. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons.
- Koba, Y. and Ishizaki, A. 1990. Chemical composition of palm fiber and its feasibility as
cellulosic raw material for sugar production. J. Biol. Chem. 54(5): 1183-1187.

- Kochler, L.H. 1952. Differential of carbohydrate by anthrone reaction rate and color intensity. Anal. Chem. 24: 1576-1579.
- Krassig, H. 1985. Structure of cellulose and its relation to properties of cellulose fibers. In J.F. Kennedy, G.O. Phillips, D.J. Wedlock, and P.A. Williams. (eds.), Cellulose and Its Derivatives : Chemistry, Biochemistry and Applications, pp. 3-25. New York: Ellis Horwood Limited.
- Liang, C.Y., and Marchessault, R.H. 1959. Infrared spectra of crystalline polysaccharides. I. Hydrogen bonds in native celluloses. J. Polymer Sci. 37: 385-395.
- Lilly, V.G., Wilson, H.A., and Leach, J.G. 1958. Bacterial polysaccharide. II. Laboratory-scale production of polysaccharide by species of Xanthomonas. Appl. Microbiol. 6: 105-108.
- Lin, C-H., Conner A.H., and Hill, C.G.; Jr., 1992. The Heterogeneous character of the dilute acid hydrolysis of crystalline cellulose. III. Kinetic and x-ray data. J. Appl. Polym. Sci. 45(10): 1811-1822.
- Mark, H., 1940. Intermicellar mole and tube system in fiber structure. J. Phys. Chem. 44: 764-788.
- Meyer, L.H. 1960. Fats and other lipids. In Food Chemistry. New York: Reinhold Publishing Corporation. p. 13.
- McGovern, J.N., Ph.D. 1980. Pulping. In J.P. Casey. (ed.), Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, pp. 301-492. Vol. 1, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nishi, Y., Uryu, M., Yamanaka, S., Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., and Mitsuhashi, S. 1990. The Structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. Part 2 Improvement of the mechanical properties of sheets and their applicability to diaphragms of electroacoustic transducers. J. Mater. Sci. 25: 2997-3001.
- Okiyama, A., Motoki, M., and Yamanaka, S. 1992. Bacterial cellulose II. Processing of the gelatinous cellulose for food materials. Food Hydro. 6(5): 479-487.
- Oi, S., Matsuzaki, K., Tanaka, T., Iizuka, M., Taniguchi, M., and Poonsuk P. 1994. Effect of steam explosion treatment on enzymatic hydrolysis of palm cake and fiber as solid wastes and natural resources. J. Ferment. Bioeng. 77(3): 326-328.

- Page, D.H. 1969. A theory for the tensile strength of paper. Tappi. 52(4): 674-681.
- Parsons, S.R. 1969. Effect of interfiber bonding on tearing strength. Tappi. 52(7): 1262-1266.
- Perkins, R.M., and Mark, R.E. 1976. On the structure theory of the elastic behavior of paper. Tappi. 59(12): 1024-1028.
- Preston, R.D. 1974. The Physical Biology of Plant Cell Walls. London: Chapman and Hall.
- Reese, E.T., Segal, L., and Tripp, V.W. 1957. Effect of cellulase on the degree of polymerization of cellulose and hydrocellulose. Textile Res. J. 27: 656-632.
- Robinson, J.V. 1980. Fiber bonding. In J.P. Casey. (ed.), Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, pp. 915-963. Vol. 1, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Ross, P., Mayer, R., and Benziman, M. 1991. Cellulose Biosynthesis and function in bacteria. Micro. Rev. 55(1): 35-58.
- Sarko, A. 1976. What is the crystalline structure of cellulose? Tappi. 61: 59-61.
- Savidge, R.A. and Colvin, J.R. 1985. Production of cellulose and soluble polysaccharides by *Acetobacter xylinum*. Can. J. Microbiol. 31: 1019-1025.
- Smook, G.A. 1992. Handbook for Pulp & Paper Technologists. Vancouver: Angus Wilde Publication. p. 1-8.
- Tanahashi, M. 1983. Conversion and total utilization of forest biomass by explosion process. Mokuzai-kenkyu-shiryō. 18: 34-65.
- Tayama, K., Minakami, H., Entani, E., Fujiyama, S., and Masai, H. 1985. Structure of an acidic polysaccharide from *Acetobacter* sp. NBI.1022. Agri. Biol. Chem. 49(4): 959-966.
- Whistler, R., and Teng, J. 1970. Cellulose chemistry. In W.B. Kenneth. (ed.), Handbook of Pulp and Paper Technology, pp. 13-23. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- White, D.G. and Brown, R.M., Jr. 1989. Prospect for the commercialization of the biosynthesis of microbial cellulose. In C. Schuerch. (ed.), Cellulose and Wood Chemistry and Technology. pp. 573-590. New York: John Willey & Sons, Inc.

- Yamanaka, S, Watanabe, K., Kitamura, N., Iguchi, M., Mitsunashi, S., Nishi, Y., and Uryu, M. 1989. The Structure and mechanical properties of sheets prepared from bacterial cellulose. J. Mater. Sci. 24: 3141-3145.
- Yamashiki, T., Matsui, T., Kowsaka, K., Saitoh, M., Okijima, K., and Kamide, K. 1992. New class of cellulose fiber spun from the novel solution of cellulose by wet spinning method. J. Appl. Polym. Sci. 44(4): 691-698.
- Young, J.H. 1980. Fiber preparation and approach flow. In J.P. Casey. (ed.), Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, pp. 821-914. Vol. 2, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Zaar, K. 1977. The biogenesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. Cytobiol. 16: 1-6.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สมบัติทางกายภาพของเยื่อใยยาวฟอกขาว
(SQUAMISH-H)

สมบัติทางกายภาพ	จำนวนรอบของการบดเยื่อ (rev, PFI)				
	2000	4000	6000*	8000	10000
Freeness (ml CSF)	620	540	440	330	275
Basis weight (g/m ²)	68.2	69	65.8	66.8	67.8
Thickness (mm)	0.095	0.093	0.088	0.087	0.086
Apparent density (kg/m ³)	718	742	748	768	788
% Elongation	4.6	4.6	5	4.75	4.94
Tensile index (kN.m/kg)	58.4	69.5	75.8	77.5	78.5
Tear index (N.m ² /kg)	15.2	12.7	11.8	10.9	10.9
Burst index (MN/kg)	4.24	5.11	5.41	5.72	5.81

หมายเหตุ * เป็นจำนวนรอบของการบดเยื่อใยยาวที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 14.004 (1984)

1. อบ dish ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ใน dish ที่อบแห้ง
3. นำตัวอย่างเข้าอบหาความชื้นในตู้อบลมร้อน (WTE BINDER รุ่น E-5) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงและทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก
4. อบตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักที่คงที่ของตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 2.057 (1984)

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 กรัม ใส่ลงในขวดย่อย
2. เติมคະตะลิสต์ 10 กรัม และสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 30 มิลลิลิตร
3. ย่อยตัวอย่างด้วยเครื่อง Gerhardt Kjeldatherm (Gerhardt Bonn Co., Ltd., German) ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการย่อยเป็น 3 ช่วงคือ
 - ช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 - 20 นาที
 - ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 - 45 นาที
 - ช่วงที่ 3 ใช้อุณหภูมิ 380 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 - 30 นาที เพิ่มจากช่วงที่ 2 ย่อยตัวอย่างจนได้สารละลายใสสีเหลืองอ่อน
4. กลั่นตัวอย่างที่ย่อยแล้วด้วยเครื่อง Gerhardt Vapodest I (Gerhardt Bonn

Co., Ltd., German) โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร เป็นตัวทำปฏิกิริยาและเก็บสารที่กลั่นได้ในสารละลายกรดบอริกซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 5 - 6 หยด

5. ไตเตรทสารละลายที่กลั่นได้ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล การคำนวณ ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)

$$= \frac{\text{ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไตเตรด (N)} \times \text{ปริมาตรของกรดที่ใช้ไตเตรด (ml)} \times 6.25 \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

3. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ตามวิธีของ AOAC 14.0089 (1984)

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 กรัมแล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman NO. 1 โดยห่อ 2 ชั้น

2. ใส่ตัวอย่างใน thimble ซึ่งบรรจุในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน

3. เติมปิโตรเลียมอีเธอร์ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 100 มิลลิลิตรลงในขวดสกัด

4. สกัดไขมันด้วยเครื่อง Garhardt Soxtherm Automatic (type S-166, Gerhardt Bonn Co., Ltd., German) เป็นเวลาประมาณ 3 - 4 ชั่วโมงโดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันซิลิโคน ซึ่งเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับอุปกรณ์ที่ใช้สกัดที่ 150 องศาเซลเซียส

5. ระบายปิโตรเลียมอีเธอร์ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้แล้วอบขวดสกัดที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงหรือจนน้ำหนักคงที่

6. ทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

4. ปริมาณเถ้า

ตามวิธีของ AOAC 7.009 (1984)

1. ชั่งตัวอย่างแห้ง 2 กรัม ใส่ในครุชชีเบลที่แห้งสนิทและรู้น้ำหนักที่แน่นอน

2. นำตัวอย่างเข้าเผาในเตาเผา (carbolite type EML 11/2) ที่ 600 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. ทำให้เย็นใน เดซิเคเตอร์แล้วชั่งน้ำหนัก

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(กรัม)}}$$

5. ปริมาณเส้นใย

ดัดแปลงจากวิธีของ AOAC 7.006 (1984)

1. ชั่งตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายกรดที่ก้างเดือด 200 มิลลิลิตร จากนั้นต่อ round condenser ของชุดวิเคราะห์เส้นใย (Gerhardt type RF-16/6, Gerhardt Bonn Co., Ltd., German) เข้ากับบีกเกอร์เพื่อรักษา ระดับของกรดให้คงที่ขณะย่อยซึ่งใช้เวลาประมาณ 30 นาที

2. กรองส่วนผสมผ่านกระดาษกรองชนิดที่ไม่มีเถ้าซึ่งรู้น้ำหนักที่แน่นอน ล้างส่วนที่ติดบนกระดาษกรองด้วยน้ำร้อนจนหมดความเป็นกรด

3. ล้างส่วนที่ติดบนกระดาษกรองลงในบีกเกอร์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 200 มิลลิลิตร จากนั้นย่อยต่อไปอีก 30 นาที

4. กรองส่วนผสมด้วยกระดาษกรองแผ่นเดิมแล้วล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดความเป็นด่าง จากนั้นล้างด้วยแอลกอฮอล์ 100 มิลลิลิตร

5. นำส่วนที่ติดบนกระดาษกรองไปอบให้แห้ง แล้วใส่ในครุชเชิล เพื่อหาปริมาณเถ้าที่เหลืออยู่

6. ทิ้งให้เย็นใน เดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักครุชเชิล

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใย (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไประหว่างเผาเถ้า (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่สกัดไขมันแล้ว (กรัม)}}$$

ภาคผนวก ค

วิธีการทดสอบสมบัติทางกายภาพของฟิล์ม

วิธีการทดสอบสมบัติพื้นฐาน

1. น้ำหนักมาตรฐาน (basis weight)

ตามวิธีของ ISO 536 (1976)

1. ชั่งน้ำหนักของแผ่นฟิล์มทุกแผ่นด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักชนิดละเอียด

(Sartorius model A200S)

2. คำนวณหาน้ำหนักพื้นฐาน (กรัม/ตารางเมตร) ของฟิล์ม โดยนำน้ำหนักที่ชั่งได้หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของฟิล์ม (200 ตารางเซนติเมตร)

3. เลือกแผ่นฟิล์มที่ให้ค่าน้ำหนักพื้นฐานใกล้เคียงกับ 35 กรัมต่อตารางเมตร มา 10 แผ่น เพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพค่าอื่นต่อไป

2. ความหนา (thickness)

ตามวิธีของ ISO 534 (1988)

1. นำแผ่นฟิล์มทั้ง 5 แผ่นซ้อนกัน วัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา microcal (Lorentzen & Wettres Co., Ltd., Stockholm, Sweden) วัดเฉลี่ย 5 จุด คือ ตรงกลาง 1 จุด และบริเวณรอบ ๆ อีก 4 จุด

2. นำค่าความหนา 5 จุด มาหาค่าเฉลี่ย และคำนวณความหนาเฉลี่ย 1 แผ่น

3. ความหนาแน่นเสมือน (apparent density) ISO 534 (1988)

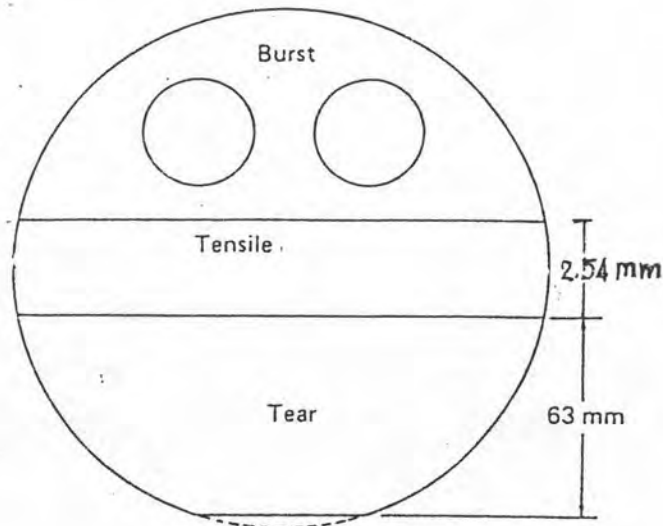
การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นเสมือน (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักพื้นฐาน (กรัม/ตารางเมตร)}}{\text{ความหนา (มิลลิเมตร)}}$$



วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการตัดแผ่นฟิล์มที่จะทำการทดสอบตามรูปที่ ค. 1 ให้ได้แผ่นทดสอบ 10 แผ่น สำหรับวัดสมบัติเชิงกลแต่ละค่า



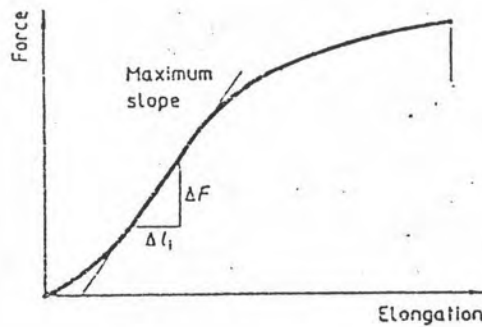
รูปที่ ค.1 การตัดแผ่นทดสอบที่จะนำไปวัดสมบัติเชิงกลของฟิล์ม

4. ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความยืด (% elongation) และ Young's modulus ตามวิธีของ ISO 1924/2 (1994)

1. นำแผ่นฟิล์มที่ตัดแล้วซึ่งมีความกว้าง 2.54 เซนติเมตร ติดไว้กับที่ยึดทั้ง 2 ด้านของเครื่อง tensile tester แบบ Model PHT Horizontal (No. 126525, Tinius \oslash Olsen Testing Machine Co., PA., U.S.A.) ซึ่งมีระยะห่างระหว่างที่ยึดเป็น 10 เซนติเมตร โดยที่ปลายข้างหนึ่งจะติดอยู่กับ load cell ส่วนอีกปลายจะเคลื่อนที่ไปได้

2. ดึงให้แผ่นฟิล์มขาด โดยให้ปลายที่ยึดแผ่นฟิล์มอีกข้างเคลื่อนที่ด้วยอัตราการยืดตัวคงที่จนกระทั่งฟิล์มขาด load cell จะอ่านค่าแรงและปรากฏบนจอ สำหรับปลายอีกข้างจะติดอยู่กับอุปกรณ์วัดการยืดตัว

3. บันทึกกราฟขณะออกแรงดึงฟิล์มจนขาด (รูปที่ ค. 2) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรง (y) กับ ร้อยละการยืดตัว (x) ค่า y สูงสุดนำมาคำนวณเป็นค่าความต้านแรงดึง ส่วนค่า x ที่ y สูงสุด คือ ค่าร้อยละความยืด และ ค่า maximum slope ที่ได้นำมาคำนวณค่า Young's modulus



รูปที่ ค. 2 การหา maximum slope ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและร้อยละความยืด

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{ความต้านแรงดึง} &= \frac{\text{ค่าที่อ่านได้ (กิโลกรัม)} \times 9.81 \text{ เมตร/วินาที}^2}{\text{ความกว้าง 2.54 เซนติเมตร}} \\ \text{(กิโลนิวตัน/เมตร)} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดัชนีความต้านแรงดึง} &= \frac{\text{ความต้านแรงดึง (กิโลนิวตัน/เมตร)}}{\text{น้ำหนักพื้นฐาน (กรัม/ตารางเมตร)}} \\ \text{(กิโลนิวตัน เมตร/กิโลกรัม)} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Young's modulus} &= \frac{\Delta F \times l_1}{w_1 \times t \times \Delta l_1} \\ \text{(แมกกะนิวตัน/ตารางเมตร)} & \end{aligned}$$

เมื่อ ΔF คือ แรงที่เปลี่ยนแปลงตรง maximum slope (นิวตัน)

l_1 คือ ความยาวเริ่มต้นระหว่างที่ยึดของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

Δl_1 คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงเมื่อแผ่นฟิล์มขาด (มิลลิเมตร)

w_1 คือ ความกว้างเริ่มต้นของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

t คือ ความหนาของแผ่นฟิล์ม (มิลลิเมตร)

ค. 5 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tearing resistance)

ตามวิธีของ ISO 1974 (1990)

- เลือกชนิดของ pendulum ของเครื่อง tearing tester type (factor A/4 และ 68.8 g - cm, AB Lorentzen & Wettres Co., Ltd., Stockholm, Swedan) ที่ใช้ให้เหมาะกับชนิด

ฟิล์ม โดยให้ค่าที่อ่านได้อยู่ประมาณ ร้อยละ 60 ของ scale ปรับเครื่องโดยให้ index ของ pendulum กับ index ของฐานเครื่องตรงกัน

2. ปรับให้ pointer อ่านค่าได้ศูนย์ เมื่อปล่อย pendulum ให้แกว่งอย่างอิสระ 1 รอบ ถ้าไม่ได้ศูนย์ให้ปรับปุ่มปรับ pointer แล้วทดลองใหม่จนกว่าจะอ่านได้ศูนย์

3. นำแผ่นฟิล์มที่ตัดแล้ว ซึ่งมีขนาดความกว้าง 6.3 เซนติเมตร ยาว 5.3 เซนติเมตร ใส่ขึ้นทดสอบ 4 แผ่นโดยให้ camp ทั้งสองตัวจับไว้ ตัดขึ้นทดสอบโดยกดขามีตัดซึ่งมีความยาว 2 เซนติเมตร

4. กด pendulum release lever ให้ตัว pendulum แกว่งไป อ่านค่าตรงจุดที่ pointer ชี้ไว้

การคำนวณ

สำหรับ pendulum ชนิด A/4

$$\text{ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (นิวตัน)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้} \times 68.8}{4 \times 4 \times 4.3 \text{ เซนติเมตร} \times 2}$$

สำหรับ pendulum ชนิด 68.8 กรัม-เซนติเมตร

$$\text{ความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (นิวตัน)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้} \times 68.8 \times 9.81}{4 \times 4.3 \text{ เซนติเมตร} \times 2}$$

ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (นิวตัน ตร.เมตร/กิโลกรัม)

$$= \frac{\text{ความต้านทานแรงฉีกขาด (นิวตัน)}}{\text{น้ำหนักพื้นฐาน (กรัม/ตารางเมตร)}}$$

6. ความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength)

ตามวิธีของ ISO 2758 (1983)

1. นำแผ่นฟิล์มที่ตัดได้มาทดสอบด้วยเครื่อง auto burst tester (Tmi monitor/burst-200 Model 13-09, Testing Machines Co., Ltd., New York, U.S.A.) ที่ได้ตั้งโปรแกรมไว้แล้ว กดสวิทช์ให้ลูกยางที่อยู่ใต้แผ่นฟิล์มดันฟิล์มจนขาดทะลุ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องเป็นค่าความต้านทานแรงดันทะลุ มีหน่วยเป็น กิโลปาสคาล

2. คำนวณค่า ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ ดังนี้

การคำนวณ

$$\text{ดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ (เมกกะนิวตัน/กิโลกรัม)} = \frac{\text{ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลปาสคาล)}}{\text{น้ำหนักพื้นฐาน (กรัม/ตารางเมตร)}}$$

7. ความขาวสว่าง (brightness)

ตามวิธี ISO 2470 (1977)

1. ทำการ calibrate เครื่องวัดความขาวสว่าง (Carl Zeiss 38420, Germany) โดยปรับ filter ที่หมายเลข 12 แล้วปรับให้หน้าปัดอ่านค่าได้ศูนย์ หลังจากนั้นปรับ filter ที่หมายเลข 8 (ซึ่งมีความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร) ทำการ calibration โดยการตั้งค่า reflectance ของแบเรียมซัลเฟตซึ่งเป็น primary standard ให้ได้ร้อยละ 99 แล้วปรับปุ่มละเอียดให้หน้าปัดอ่านค่าได้ศูนย์

2. นำแผ่นฟิล์มที่จะทดสอบจำนวน 5 แผ่น มาวัดค่าความขาวสว่าง ปรับปุ่มที่ตั้งค่าความขาวสว่างให้หน้าปัดอ่านค่าได้ศูนย์ แล้วอ่านค่า reflectance ของแผ่น

วิธีการทดสอบสมบัติของการเป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร

8. ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (Water vapour permeability)

ดัดแปลงจากวิธีของ dish method ASTM E 96-80 (1980)

1. ทำความสะอาด dish (มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.985 เซนติเมตร ลึก 3.085 เซนติเมตร) แล้วนำเข้าตู้ควบคุมความชื้น (Termaks climatic cabinet type KBP 6395 FL) ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ 27 ± 0.5 องศาเซลเซียส และ ร้อยละ 65 ± 2 ตามลำดับ

2. นำขี้ผึ้งมาหลอมละลายใน water bath เอาปิเปต (ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร) มาอังไฟให้ร้อนทั่ว ๆ กัน และตัดแผ่นฟิล์มด้วย cutting template ให้ได้ขนาดตามต้องการ

3. เทแคลเซียมคลอไรด์ (ชนิด anhydrous ในรูปของ granular ขนาด 6-12 mesh, Merck) ประมาณ 75 กรัม ลงใน dish วางแผ่นทดสอบและ waxing template ตามลำดับ โดยจัดแผ่นทดสอบให้อยู่กลาง dish นำปิเปตที่อังไฟจนร้อนดูดขี้ผึ้งผสมที่หลอมเหลวแล้วเทรอบ ๆ วงแหวน เมื่อขี้ผึ้งแข็งด้วยก waxing template ออก

4. นำ dish ขึ้นตั้งบนที่กน้ำหนัก แล้วนำเข้าตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ จากนั้นเอาออกมาชั่งทุก ๆ 30 นาที แล้วคำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

5. เขียนกราฟโดยนำน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) เป็นแกน X และเวลา (นาที) เป็นแกน Y หากค่า slope ของกราฟได้เป็นหน่วยกรัมต่อพื้นที่ผิวของแผ่นทดสอบต่อนาที นำค่า slope มาคำนวณหาค่าอัตราการซึมผ่านไอน้ำ (water vapour transmission rate, WVTR) และคำนวณค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของไอน้ำ (Water vapour permeability, WVP)

การคำนวณ

$$\text{WVTR} = \frac{\text{slope} \times 10,000 \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}}{\text{พื้นที่ผิว} 58.52 \text{ ตารางเซนติเมตร}}$$

(กรัม/วัน/ตารางเมตร)

$$\text{WVP} = \frac{\text{WVTR} \times \text{ความหนา (มิลลิเมตร)}}{P_s (RH_1 - RH_2)}$$

(กรัม-มิลลิเมตร/วัน/ตารางเมตร/กิโลปาสคาล)

เมื่อ WVP มีหน่วยเป็น กรัม-มิลลิเมตร/วัน/ตารางเมตร/กิโลปาสคาล

P_s คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิที่ทดลอง (0.201 ปาสคาล)

$RH_1 - RH_2$ คือ ผลต่างของความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละด้านของฟิล์มที่ทดสอบ

มีค่าเป็น ร้อยละ 63

9. ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจน (Oxygen gas permeability)

ตามวิธี ASTM D 1434-66 (1971)

1. ตัดแผ่นฟิล์มให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.2 เซนติเมตร ปรับสภาวะที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง
2. ทรายส่วนบนของ permeability cell (No. CS -135-194, Custom Scientific Instruments Co., Ltd., Whippany, N.J.) พร้อมหลอดแก้วคาปิลลารีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร) ขึ้น แล้วทา grease ที่ผิวเรียบวงนอกของเซลล์ และที่ประกั้นยาง แล้ววางกระดาษกรอง (whatman No. 41 ขนาด 9 เซนติเมตร) ที่กึ่งกลางของเซลล์ตรวจสอบดูว่าไม่มีรอยย่นที่แผ่นฟิล์ม
3. วางแผ่นฟิล์มตามโดยหันเอาผิวสัมผัสที่ด้านเข้าหากกระดาษกรอง และติดแผ่นฟิล์มบน grease ไม่ให้มีรอยย่นหรือฟองอากาศ แล้ววางประกั้นยางทาบให้สนิท ลงบนแผ่นฟิล์ม
4. ประกอบส่วนบนของ permeability cell กับส่วนล่างของเซลล์ แล้วขันสกรูให้แน่นโดยขันสกรูทีละคู่ซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน
5. ต่อท่ออากาศจากถังเข้ากับท่อทางเข้าของชุด permeability cell เปิดวาล์วท่ออากาศและปรับความดันให้ก๊าซไหลเข้าที่ท่อทางเข้าของเซลล์ให้ได้ 103.40 เซนติเมตรปรอท เปิดวาล์วที่ vent line และปิดวาล์วที่ permeate vent line เพื่อปล่อยให้ก๊าซไหลทิ้ง แล้วปรับ

ความดันเกจและอัตราการไหลของก๊าซให้ได้ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ทิ้งไว้เวลานาน 10 นาทีเพื่อปรับความดันของก๊าซให้สมดุลย์

6. เปิดวาล์วที่ permeate vent line และปิดวาล์วที่อก๊าซที่เข้า permeability cell เพื่อลดความดันของระบบให้เป็นศูนย์ ทิ้งไว้เวลานาน 10 นาที

7. ปิดวาล์วที่ permeate vent line และเริ่มจลลาระยะที่เคลื่อนที่ขึ้นของของเหลวสีในหลอดคเคปิลลารี โดยการจับเวลาด้วยนาฬิกา เมื่อสิ้นสุดเวลาที่กำหนดจะต้องเริ่มต้นทำใหม่ โดยการเปิดวาล์วที่อบนอย่างช้า ๆ เพื่อให้ของเหลวสีกลับมาอยู่ด้านล่างใหม่ แล้วทำเหมือนข้อ 6 จะทำซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

8. นำค่าที่ได้ไปหา slope โดยการเขียนกราฟระหว่างเวลา (วินาที) ซึ่งเป็นแกน X กับระยะทาง (เซนติเมตร) ซึ่งเป็นแกน Y นำมาคำนวณหาค่าอัตราการซึมผ่านก๊าซ (gas transmission rate, GTR) มีหน่วยเป็น ลบ.เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน/บรรยากาศ

การคำนวณ

$$\text{อัตราการซึมผ่านก๊าซออกซิเจน (GTR)} = \frac{\text{slope} \times a \times 6.566 \times 10^{10}}{A \times \Delta P}$$

(ลูกบาศก์เซนติเมตร/ตารางเมตร/วัน/บรรยากาศ)

เมื่อ a คือ พื้นที่หน้าตัดของหลอดคเคปิลลารี (0.00786 ตร.เซนติเมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของฟิล์มที่ก๊าซซึมผ่าน (66.5 ตร.เซนติเมตร)

ΔP คือ ความแตกต่างของความดันก๊าซที่ทดสอบ (103.40 เซนติเมตรปรอท)

$$\text{ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของก๊าซออกซิเจน} = \frac{\text{GTR} \times \text{ความหนา (มิลลิเมตร)}}{101.325}$$

(ลูกบาศก์เซนติเมตร-มิลลิเมตร/ตารางเมตร/วัน/กิโลปาสกาล)



ประวัติผู้เขียน

นางสาวรังสิมา ชลคุป เกิดวันที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2513 ที่จังหวัดภูเก็ต สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตประสานมิตร ในปีการศึกษา พ.ศ. 2533 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา พ.ศ. 2534

ผลงานทางวิชาการ

- Chollakup, R., Rattanarojmongkol, T., Tantratian, S., and Pradipasena, P. 1994. Physical properties of cellulose film from *Nata*. Poster presentation. Biotechnology for Economy and Pollution Control. Oct. 12-15. Khon Kaen: Khon Kaen university.