

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide), PLA) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนของตัวทำละลายระหว่างของสารละลาย PLA และสารละลายที่ของ PLA ที่ผสมสารขยายโซ่ที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA ด้วยการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ในการอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตนในอัตราส่วน 70/30 %v/v เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้เป็นตัวทำละลายของพอลิแอล-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide), PLA) ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยเทคนิค อิเล็กโทรสปินนิง เนื่องจากสามารถเตรียมเส้นใยของแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์ได้ โดยให้เส้นใยที่มีความต่อเนื่องและมีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่มีขนาดเล็กและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใยจะเพิ่มขึ้นเมื่อผสมสารช่วยยืดสายโซ่ในอัตราส่วนที่สูงขึ้น ในขณะที่อัตราส่วน 100/0 และ 85/15 %v/v ให้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอและต่อเนื่องและมีเม็ดปืทเป็นองค์ประกอบ ในส่วนของการศึกษาคุณสมบัติเชิงกล การผสมสารขยายโซ่กับโมเลกุลของ PLA จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนดีขึ้นโดยจะทำให้ค่า Stress at break และ % Elongation at break เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า Young's Modulus เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์ ที่ไม่ได้ผสมสารขยายโซ่ และเมื่ออัตราส่วนของสารขยายโซ่เพิ่มขึ้นค่า Stress at break จะสูงขึ้นในขณะที่ค่า % Elongation at break มีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทราบถึงอิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide), PLA) ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจจะศึกษาคุณสมบัติด้านอื่นๆประกอบ เช่น คุณสมบัติด้านความร้อน ความสามารถในการผ่านของไอน้ำ และการดูดซับไอน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นสำหรับการนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้เป็นวัสดุทางด้านชีวภาพต่อไป

บรรณานุกรม

- อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล. (2554). "พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์ จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้"
วิศวกรรมศาสตร์, ฉบับที่ 77
- Alippilakkotte, F., Kumar, S & Sreejith, L. (2017) Fabrication of PLA/Ag nanofibers by green synthesis method using *Momordica charantia* fruit extract for wound dressing applications *Colloids and Surface A* 529, 771-778.
- Anders, S. & Mikael, S. (2002) Properties of lactic acid based polymers and their correlation with composition. *Progress in Polymer Science* 27, 1123 -1163.
- Angarwal, S., Wendorff J.H. & Greiner, A. (2008) Use of electro spinning technique for biomedical application. *Polymer* 49, 331-334.
- Arruda, L. C., Magaton, Marina, SumanBretas, R. E. & Massayoshi Ueki, M. (2015) Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends. *Polymer Testing* 43, 27-37.
- Athira K. S., Sanpui, P. & Chatterjee, (2014) Fabrication of poly(caprolactone) nanofibers by electrospinning. *Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry* 2 (4), 62-66.
- Aurus, R., Harte, B. & Selke, S. (2004) An overview of polylactides as packaging materials. *Macromolecular Bioscience* 4, 835-864.
- Baimark, Y. & Srihanam, P. (2015) Influence of chain extender on thermal properties and melt flow index of stereocomplex PLA. *Polymer Testing* 45, 52-57.
- Datta, R. & Henry, M. (2006) Lactic acid: recent advances in products, processes and technologies-a review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 81, 1119-1129.
- De Vrieze, S., Camp, T., Nelvig, A., Hagstrom, B., Westbroek, P. & Clerck, K. (2008) The effect of temperature and humidity on electrospinning. *Journal of Material Science* 44, 1357-1362.
- Dorgan, J.R., Lehermeier, H. & Mang, M. (2000) Thermal and rheological properties of commercial-grade poly (lactic acid)s. *Journal of Polymers and the Environment* 8, 1-9.
- Gibson, H.L., Gibson, P., Tsai, P. & Gupta, P.W.G. (2004) Cooperative charging of fibers from electrospinning of electrically dissimilar polymers. *INJ Winter* 39-45.
- Gu, S-Y. & Ren, J. (2005) Process optimization and empirical modeling for elctrospun poly(D,L-lactide) fibers using response surface methodology. *Macromolecule Materials Engineering* 290, 1097-1105.
- Ishii, D, Ying, T.H. Mahara, A. Murakami, S., Yamaoka, T. & Lee, W. (2009) In vivo tissue response and degradation behavior of PLLA and Stereocomplexed PLA nano fibers.

- Biomacromolecules* 10, 237-242.
- Kanani, A.G. & Bahrami, S.H. (2010) Review on electrospun nanofibers scaffold and biomedical applications. *Trends Biomater Artif Organs* 24, 93-115.
- Khankrua, R., Pivsa-Art, S., Hiroyuki, H. & Suttiruengwong, S. (2014) Effect of chain extenders on thermal and mechanical properties of poly(lactic acid) at high processing temperatures: Potential application in PLA/Polyamide 6 blend. *Polymer Degradation and Stability* 108, 232-240.
- Kenawy, E-R., Bowlin, G.L., Mansfield, K., Layman, J., Simpson, D.G. & Sanders, E.H. (2002) Release of tetracycline hydrochloride from electrospun poly(ethylene-co-vinylacetate), poly(L-lactic acid) and a blend. *Journal of Control Release* 81, 57-64.
- khil, M. Cha, D., Kim, I. & Kim, I. (2003) Electrospun nanofibrous poly-urethane membrane as wound dressing. *Biomaterial* 67, 675-679.
- kim, G.T., Lee, J-S., Shin, J-H., Ahn, Y-C., Hwang, Y-J. & Shin, H-S. (2005) Investigation of pore formation for polystyrene electrospun fiber : effect of relative humidity. *Korean Journal of Chemistry Engineering* 22, 783-788.
- Lee, K.H., Kim, H.Y., Khil, M.S., Ra, Y.M. & Lee, D. R. (2003) Characterization of nano-structured poly(caprolactone) nonwoven mats. *Polymer Journal* 44, 1287-1294
- Lee, K.H., Kim, H.Y., La, Y.M., Lee, D. R. & Sung, N.H. (2002) Influence of a mixing solvent with tetrahydrofuran and N,N-dimethylformamide on electrospun poly(vinyl chloride) nonwoven mats. *Journal of Polymer Science part B : Polymer Physical* 40, 2259-2268.
- Lim, L.T., Aurus., R. & Rubino, M. (2008) Processing technologies for poly(lactic acid). *Progress in Polymer Science* 33, 820-852.
- MacDonald, J. P. & Shaver, M. P. (2016) An aromatic/aliphatic polyester prepared via ring-opening polymerisation and its remarkably selective and cyclable polymerisation to monomer. *Polymer Chemistry* 7, 553-559.
- Patra, S.N., Easteal, A. J. & Bhattacharyya, D. (2008) Parametric study of manufacturing poly(lactic) acid nanofibrous mat by electrospinning. *Journal of Material Science* 44, 647-654.
- Phabhakaran, M.P. Ghasemi-Mobarakeh, l., Jin, G. & Ramakrishna, S. (2011) Electrospun conducting polymer nanofibers and electrical stimulation of nerve stem cells. *Journal of Bioscience Bioengineering* 11;112, 501-507.
- Sarasua, J.R., Arraiza, A.L., Balerdi, P. & Maiza, I. (2005) Crystallinity and mechanical properties of optically pure polylactides and their blends. *Polymer Engineering & Science* 45, 745-753.
- Theron, S.A., Zussman, E. & Yarin, A.L. (2004) experimental investigation of the governing parameters in the electrospinning of polymer solution. *Polymer* 45, 2017-2030.
- Tsuji, H., Okino, R., Daimon, H. & Fujie, K. (2005) Water vapor permeability of poly(lactide)s :

effects of molecular characteristics and crystallinity. *Journal of Applied Polymer Science* 99, 2245-2252.

Yang, F., Murugan, R., Wang, S. & Ramakrishna, S. (2005) Electrospinning of nano/micro scale poly(L-lactic acid) aligned fibers and their potential in neural tissue engineering.

Biomaterials 26, 2603-2610.

Yang, F., Xu, C.Y., KotaKi, M., Wang, S. & Ramakrishna, S. (2004) characterization of neural stem cell on electrospun of of poly(L-lactic acid) nanofibrous scaffold. and their potential in neural tissue engineering. *Journal of Biomaterial Science Polymer Education* 15, 1483-1497.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายธนชาติ อิ่มสมบัติ
 ตำแหน่ง อาจารย์
 หน่วยงานสังกัด สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ม.ราชภัฏมหาสารคาม
 โทรศัพท์ 0986450052
 E-mail tiinthanon@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2560 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 พ.ศ. 2553 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 พ.ศ. 2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาเคมี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลงานการวิจัย

1. **Thanonchat Imsombut**, MangKorn Srisa-ard and Yodthong Baimark (2017) Synthesis of star-shaped-caprolactone oligomers for use as plasticizers of poly(L-lactide) bioplastic films. *Oriental journal of chemistry* 33, 2 xxx-xxx.
2. Yodthong Baimark and **Thanonchat Imsombut** 2016. Plasticization of poly (L-lactide) bioplastic films with poly (propylene glycol)-b-oligo (ϵ -caprolactone) *International Journal of Applied Chemistry (IJAC)* 12, 3, 309-322.
3. Tanpadi, P., Kittisripanya, N., **Imsombut, T.**, Mahem, R., Panpojan, T., Prapan' S. & Wisedsri, R. (2018) Preparation of silk fibroin/chitosan film and its ability to remove Rhodamine B dye in aqueous solution. Pure and Applied Chemistry International Conference 2018 - PACCON 2018 "CHEMISTRY TOWARD A SUSTAINABLE FUTURE" 7-9 February 2018 the 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne, International Convention Center Hat Yai, SongKha, Thailand
4. Butsayamart Rattanadon, Kwanyuen Liumsamrong and **Thanonchat Imsombut** (2017) **Effect of germination times on proximate compositions of black sesame sprouts** (*Sesamum indicum L.*). Pure and Applied Chemistry Conference 2017 "Green convergence on chemical frontiers" February 2-3, 2017 Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana Bangkok, Thailand (Poster presentation)

5. Reuthaithip Wisedsri, Saiphon Chanphaka, Theanchai Panphojuan and **Thanonchat Imsombut** 2017. **Synthesis of magnetically recoverable rod like Bi₂O₃/¥-Fe₂O₃ composition with high photocatalytic performance under visible light irradiation.** Pure and Applied Chemistry Conference 2017 “Green convergence on chemical frontiers” February 2-3, 2017 Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana Bangkok, Thailand (Poster presentation)

6. Sarin Thongthumachat, Bussayamas rattanadon, Pongpat chaipanha, Sasivimol Seekheaw, Supada Sawangkote, Arnon Komolphan and **Thanonchat Imsombut** 2015. Preparation and characterization of chitosan/agarose scaffold for tissue engineering. application. *Phayaow Research Conference 4th* January 29-30, Phayaow University Phayaow Thailand, (Poster presentation)

7. **Thanonchat Imsombut**, Ketmanee Uthajit, Niranrat Maneesang, Wanthicha Saudsom, Pathomporn Sangwiset, and **Thongsook Palama** 2015. Preparation and characterization of chitosan/agarose blended films for use as drug delivery systems. *Phayaow Research Conference 4th* January 29-30, Phayaow University Phayaow Thailand, (Poster presentation)

8. **Thanonchat Imsombut** and Yodthong Baimark 2014. Plasticization of biodegradable films of poly (L-lactide) with poly propylene glycol. International Conference in ICSSSS. Rajabhat Mahasarakham Unuversity, Mahasarakham Thailand. (Oral presentation)

9. **Imsombut, T.**, Srisa-ard, M., Srihanam, P. & Baimark, Y. (2011). Preparation of silk fibroin microspheres by emulsification-diffusion method for controlled release drug delivery applications. *e-polymer* 088, 1-8.

10. **Imsombut, T.**, Srisuwan, Y., Srihanam, P. & Baimark, Y. (2010). Genipin cross-linked silk fibroin microspheres prepared by simple water-in-oil emulsion solvent diffusion method. *Powder Technology* 203, 603-608.

11. Srihanam, P., Srisuwan, Y., **Imsombut T.** & Baimark, Y. (2010). Silk fibroin microspheres prepared by the water-in-oil emulsion solvent diffusion method for protein delivery. *Korean J. Chem. Eng* 10.1007, 0322-0324.

12. **Imsombut, T. & Baimark, Y.** Preparation of silk fibroin microparticles by emulsification-diffusion method for drug delivery. *Pure and Applied Chemistry International Conference 2010*, January 21-23, 2010, Sunee Grand Hotel and Convention Center Ubon Ratchathani, Thailand. P. **679**.
13. **Imsombut, T. & Baimark, Y.** 2010, Effect of genipin cross-linked silk fibroin microparticle on methylene – blue released. *Science research Conference, th⁴ 2010*, March 9-11, Naresuan University, Thailand.
14. Khotawong, S., **Imsombut, T. & Butiman, J.** Comparison of silk yarn appearance after dyeing with fresh and powder natural dyes. *Maharakham conference 2010, 6th*, August 26-28, 2010, Taksila Hotel Maharakham, Thailand. P. **152**.
15. Khotawong, S., **Imsombut, T. & Butiman, J.** Extraction of natural dye powder of silk yarn dyeing. *International Conference 2009*, September 21-22, 2009 faculty of Agriculture Kasetsart University, Bangkok Thailand.
16. Khotawong, S., **Imsombut, T. & Butiman, J.** Morphological characteristic of dyeing and chemical structure of silk yarn, with different methods of natural dyed. *International workshop on sericulture and weaving silk*. August 28-29, 2008, Taksila Hotel Maharakham, Thailand. P. **43**.

ชื่อ นางสาว ฤทัยทิพย์ วิเศษศรี
 ตำแหน่ง อาจารย์
 หน่วยงานสังกัด คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
 เฉลิมพระเกียรติสกลนคร
 โทรศัพท์ 087-7107811
 E-mail ruethai@gmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556 ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.) สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2546 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชา เคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผลงานการวิจัย

1. Wisedsri, R., Chanpaka, S., Panphojan, T., Imsombat, T., Synthesis of magnetically recoverable rod like $\text{Bi}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ composite with high photocatalytic performance under visible light irradiation, PACCON 2017, Bangkok, Thailand, 2-3 February, 2017.
 ทูลจากสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี ๒๕๕๙
2. Wisedsri, R., Chaiyaros, P., Thohinung, S., Electrospinning of ZnO/silk fibroin composite fiber in aqueous solution, Macro 2014, Chaingmai, Thailand, 6-11 July, 2014
3. Reuthaithip Wisedsri, Saiphon Chanphaka, Theanchai Panphojuan and **Thanonchat Imsombut** 2017. **Synthesis of magnetically recoverable rod like $\text{Bi}_2\text{O}_3/\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ composition with high photocatalytic performance under visible light irradiation.** Pure and Applied Chemistry Conference 2017 “Green convergence on chemical frontiers” February 2-3, 2017 Centra Government Complex Hotel & Convention Centre Chaeng Watthana Bangkok, Thailand (Poster presentation)
4. Tanpadi, P., Kittisripanya, N., **Imsombut, T.**, Mahem, R., Panpojan, T., Prapan' S. & Wisedsri, R. 2018. Preparation of silk fibroin/chitosan film and its ability to remove Rhodamine B dye in aqueous solution. Pure and Applied Chemistry International Conference 2018 - PACCON 2018 “CHEMISTRY TOWARD A SUSTAINABLE FUTURE”

7-9 February 2018 the 60th Anniversary of His Majesty the King's Accession to the Throne, International Convention Center Hat Yai, SongKha, Thailand



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รายงานวิจัย
เรื่อง

อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน
พอลิแลค-แล็กไทด์

The Effect of Chain Extender on Mechanical Properties
of Poly(L-lactide) Membranes

ธนนชาติ อิ่มสมบัติ
ฤทัยทิพย์ วิเศษศรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2561

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนในด้านต่างๆ จากบุคคลหลายฝ่าย คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ยอดธง ไบมาก หน่วยวิจัยพอลิเมอร์แตกสลายได้ทางชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิแอล-แล็กไทด์ เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ อาจารย์พิริยะ ปราณีกิจ สาขาวิชาฟิสิกส์ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอิเล็กทรอนิกส์-สปินนิ่ง จนวนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ในการศึกษาวิจัย

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ทำให้การดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าประโยชน์อันเกิดจากงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือ และขอน้อมบูชาบูรพาจารย์ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้วยความรักและเมตตา

หัวข้อวิจัย อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์
ผู้วิจัย ธนชาติ อิ่มสมบัติ
 ฤทัยทิพย์ วิเศษศรี
หน่วยงาน สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

แผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์สามารถเตรียมได้ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า ได้ทำการศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตน และอิทธิพลของสารขยายโซ่ที่มีต่อลักษณะสัญญาณ การกระจายตัวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ ผลการศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงให้เห็นว่าในอัตราส่วน 70/30 %v/v ของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตน สามารถผลิตเส้นใยของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ที่มีขนาดเล็กและให้เส้นใยที่ต่อเนื่องได้ ทั้งแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์และพอลิแอล-แล็กไทด์ที่ผสมสารขยายโซ่ในอัตราส่วน 0.5 และ 2.0 phr ในขณะที่อัตราส่วนของระบบตัวทำละลายในอัตราส่วน 100/0 และ 85/15 %v/v จะให้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับขนาดการกระจายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ศึกษาด้วยโปรแกรม nano vb 8.0 แสดงให้เห็นว่าขนาดการกระจายตัวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของสารขยายโซ่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การผสมสารขยายโซ่จะทำให้ค่า ความต้านทานต่อแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่า โมดูลัส ยั่งส์ ของแผ่นเมมเบรนเพิ่มขึ้น

Research Title The Effect Chain Extender on Mechanical Properties of Poly(L-lactide) Membranes

Researcher Thanonchat Imsombut
Ruethaithip Wisetsri

Organization Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology
Rajabhat Maha Sarakham University

Year 2018

Abstract

Poly(L-lactide) (PLA) membrane was successfully prepared by electrospinning technique. The effect of various solvent ratios of PLA solution, chloroform/acetone and chain extender (CE) on morphology and mechanical properties of PLA membrane were studied. Scanning electron microscope, SEM was shown that of defect-free and continuous small fiber over all of the PLA membranes (PLA, PLA-0.5CE, PLA-2.0CE) are produced by 70/30 %v/v of chloroform/acetone. Whereas, 100/0 and 85/15 %v/v shown the large diameter of PLA and PLA-chain extended fibers. For the average of the size distribution of PLA membrane was determined by nano vb 8.0 software the result was indicated that the large fiber diameter of PLA membrane was increased with increasing the chain extender ratio. The mechanical properties of PLA membrane was shown that the tensile strength, % elongation at break and young's modulus were increased when the chain extender was mixed.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 พอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly (L-lactide), PLA).....	3
2.1.1 โครงสร้างองค์ประกอบและการสังเคราะห์.....	4
2.1.2 สมบัติของพอลิแลกติกแอซิด.....	5
2.1.3 สมบัติการละลาย.....	6
2.1.4 สมบัติทางกายภาพและทางกล.....	6
2.1.5 สมบัติทางความร้อน.....	6
2.1.6 กำนนำไปใช้ประโยชน์.....	6
2.2 การปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต (Electrospinning).....	7
2.3.1 การนำไปใช้ประโยชน์.....	8
2.3 สารขยายโซ่(Chain-extender).....	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	12
3.1 วัสดุ.....	12
3.2 สารเคมีที่ใช้การทดลอง.....	12
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	12
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	13
3.4.1 กำทำบริสุทธิ์พอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA).....	13
3.4.2 เตรียมสารละลายพอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA) ผสม ZnO-QDs.....	13
3.4.3 การเตรียมแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA)	13
3.4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเมมเบรน.....	13
3.4.5 การศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยของแผ่นเมมเบรน.....	14
3.4.6 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล.....	15
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	15
4.1 อิทธิพลอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายต่อลักษณะสัณฐานของเส้นใยแผ่นเมมเบรน-พอลิแอล-แล็กไทด์.....	15
4.2 อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อการกระจายตัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์.....	16
4.3 อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์.....	18
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	20
5.1 สรุปผล	20
5.2 ข้อเสนอแนะ	20
บรรณานุกรม	21
ประวัติผู้วิจัย.....	24

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	12
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	12
3.3 แสดงอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายของสารละลาย PLA.....	13
4.1 แสดงอิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อค่าการกระจายตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย แผ่นเมมเบรนโดยเฉลี่ยและลักษณะสัญญาณของเส้นใยแผ่นเมมเบรน.....	17
4.2 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์.....	18



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วัฏจักรชีวิตของพอลิแลค-แล็กไทด์	3
2.2 โครงสร้างของกรดแลคติก.....	4
2.3 แสดงการสังเคราะห์ PLA	5
2.4 แสดงส่วนประกอบของเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrospinning).....	8
2.5 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของพอลิแลค-แล็กไทด์(PLA)บริเวณ (a) ปลายสายโซ่ (b) ภายในสายโซ่.....	9
4.1 แสดงลักษณะพื้นฐานของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของPLA (a- c) PLA-0.5 CE (d-f) และ PLA-2.0 CE (g-h) เตรียมได้จากสารละลายที่ใช้ระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/ อะซิโตนในอัตราส่วน 100:0 85:15 และ 70:30 ตามลำดับ.....	16
4.2 แสดงลักษณะพื้นฐานและอิทธิพลขนาดการกระจายตัวของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของ (a) PLA (b) PLA-0.5 CE และ (c) PLA-2.0 CE ตามลำดับ.....	17
4.3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน (a) Stress-strain curve (b) Stress at break (c) Elongation at break และ (d) Young's Modulus.....	19



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เส้นใยขนาดนาโนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง เช่น ในระบบการกรอง (Gibson *et al.*, 2004) ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Angarwal *et al.*, 2008); Kanani & Bahrami 2010; Yang *et al.*, 2005) การรักษาแผล (Kenawy *et al.*, 2002) และใช้ในระบบนำส่งยา (Khill *et al.*, 2003) เนื่องจากเส้นใยขนาดนาโนและไมโครที่สานกันไปมาจนเป็นแผ่นเมมเบรนจะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูง โดยมีขนาดของรูพรุนที่เล็กและมีความเป็นรูพรุนต่อพื้นที่ที่สูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและลักษณะสัณฐานของเส้นใยที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงนั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มคือ 1) คุณสมบัติของสารละลาย 2) ตัวแปรต่างๆในกระบวนการปั่น และ 3) สภาพอากาศที่ใช้ในการปั่นเส้นใย (Therron *et al.*, 2004); De Vrieze & Camp 2008); Kim *et al.*, 2005) กลุ่มตัวแปรเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดให้เส้นใยที่ปั่นได้มีความเป็นเนื้อเดียวกันและเป็นเส้นใยที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งเป็นลักษณะสัณฐานที่มีความจำเพาะเจาะจงและการนำไปประยุกต์ใช้ในแต่ละด้าน จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษาตัวแปรต่างๆในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับ และ อัตราการไหลของสารละลายในการปั่นเส้นใย ในขณะที่การศึกษาตัวทำละลายหรือระบบตัวทำละลายในการใช้เตรียมสารละลายพอลิเมอร์ ยังไม่สามารถอธิบายกลไกได้อย่างชัดเจนเนื่องจากระบบตัวทำละลายนี้จะส่งผลต่อคุณสมบัติของสารละลายโดยตรง ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการปั่นเส้นใยในกระบวนการปั่น ดังนั้นการเลือกระบบตัวทำละลายจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อความสามารถของการปั่นเส้นใยในกระบวนการ

พอลิแลคติกแอซิด (Poly(L-lactide), PLA) เป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติสามารถแตกสลายทางชีวภาพได้ (Biodegradable polymer) และยังมีคุณสมบัติสามารถเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (Biocompatible polymer) โดยไม่ทำให้เนื้อเยื่อเกิดการอักเสบ เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของพอลิเอสเทอร์ ปัจจุบันได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในการนำมาขึ้นรูปเป็นภาชนะที่สามารถย่อยสลายได้ อนุภาคขนาดไมโคร ในระบบนำส่งยา (Khotsange *et al.*, 2017) และนิยมนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นเมมเบรน (Yang *et al.*, 2005) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Yang *et al.*, 2004); Prabhakaran *et al.*, 2011); Ishii *et al.*, 2009) มีการศึกษาถึงอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของ PLA ต่อลักษณะสัณฐานของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลนี้ส่งผลต่อค่าความหนืด ค่าแรงตึงผิว และค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายของสารละลายในกระบวนการผลิตเส้นใยและส่งผลให้เส้นใยที่ได้มีขนาดที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามแผ่นเมมเบรนของ PLA ยังมีข้อด้อยคือ มีความต้านทานต่อแรงดึงที่ต่ำ (tensile strength) และมีร้อยละของการดึงยืดที่น้อย (% elongation at break) ดังนั้นจึงมีการเติมสารบางชนิดลงไปเพื่อปรับปรุงค่าความหนืด ดรชชนีการหลอมไหล และแรงตึงผิวของสารละลาย PLA โดยการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ PLA ให้สูงขึ้น

สารขยายโซ่ (chain extender) เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการผสมลงในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการเช่นความเหนียว ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์และสามารถทำให้พอลิเมอร์ที่ผสมสารช่วยยึดสายโซ่นั้นใช้งานได้กว้างมากขึ้นโดยเฉพาะค่าดรชชนีการหลอมไหล (melt flow index) ส่งผลต่อความหนืดขณะหลอมในกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ และจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหรือ

ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้ สารขยายโซ่ที่นิยมใช้ได้แก่ styrene-acrylic, epoxy (ECE) และ polycarbodiimide (PCD) ปฏิกิริยาของการต่อสารขยายโซ่ให้กับพอลิแลค-แล็กไทด์จะเกิดปฏิกิริยาโดยใช้กระบวนการหลอม (melt processing) (Baimark และ Srihanam (2015))

จากรายงานวิจัยยังไม่มีรายงานถึงอิทธิพลของสารขยายโซ่ (Chain extender, ECE) ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนของพอลิแลค-แล็กไทด์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาอิทธิพลของระบบตัวทำละลายต่อลักษณะสัณฐานและการกระจายตัวขนาดเส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA ที่เตรียมจากสารละลายของ PLA ผสมกับ CE ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายต่อลักษณะสัณฐานและขนาดการกระจายตัวของเส้นใยแผ่นเมมเบรนพอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide) membrane) ที่ผสมสารขยายโซ่ (Chain extender)

2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารขยายโซ่ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแลค-แล็กไทด์ ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 พอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly (L-Lactide) ที่ผสมสารขยายโซ่ในอัตราส่วน 0.5 และ 2.0 phr

1.3.2 ระบบของตัวทำละลายที่ศึกษาคือ คลอโรฟอร์มและอะซิโตน

1.3.3 ขึ้นรูปแผ่นเมมเบรนด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยกำหนดสถานะในการปั่นเส้นใยดังนี้

1) แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 Kv

2) อัตราการไหลของสารละลาย Polymer เท่ากับ 0.3 mL/h

3) ระยะห่างระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับเท่ากับ 12 cm

1.3.4 ลักษณะเฉพาะต่างๆ ที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะสัณฐานของเส้นใย การกระจายตัวขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและคุณสมบัติเชิงกล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบถึงอิทธิพลของระบบตัวทำละลายและสารขยายโซ่ (Chain extender) ที่มีผลต่อลักษณะสัณฐาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide) membrane) ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

แผ่นเมมเบรน (Wound dressing) หมายถึง วัสดุที่มีเส้นใยขนาดไมโครและนาโนสานกันไปมา มีลักษณะเป็นแผ่นบาง

อิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) หมายถึง การปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิตโดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ส่งผลให้เส้นใยมีค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง

พอลิแลค-แล็กไทด์ Poly (L-lactide) หมายถึง พอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกรดแล็กติก

สารขยายโซ่ (Chain extender) หมายถึง สารสำหรับเพิ่มความยาวสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์

บทที่ 2

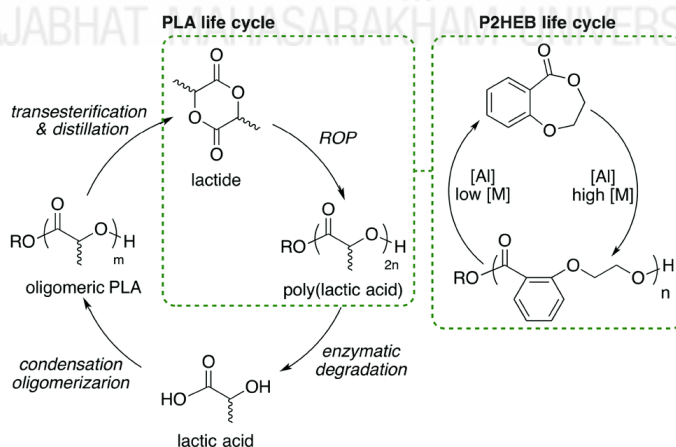
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเรื่องนี้ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

1. พอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly (L-lactide), PLA)
2. การปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)
3. สารขยายโซ่ (Chain extender)
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly (L-lactide), PLA)

พอลิแลค-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide) หรือ PLA วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต Poly(L-lactide) คือแป้งที่มาจากทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) ซึ่งได้แก่พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพดและมันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้ได้เป็นน้ำตาลและนำไปหมัก (fermentation) ด้วยจุลินทรีย์ เกิดเป็น Lactic acid ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายกับการหมักเบียร์ จากนั้นนำ Lactic acid ที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่า lactide หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นโพลิเมอร์ของ lactide ที่เป็นสายยาวขึ้นเรียกว่า Polylactic Acid (PLA) ซึ่งการกำหนดความยาวของสายโพลิเมอร์ให้ได้ตามที่ต้องการจะเป็นสิ่งที่ทำให้คุณสมบัติของ PLA เปลี่ยนไปตามลักษณะการใช้งาน ทั้งนี้ PLA สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้ เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม อีกทั้ง PLA ยังมีคุณสมบัติพิเศษคือมีความใส ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน รูปที่ 2.1 แสดงการสังเคราะห์พอลิแลค-แล็กไทด์



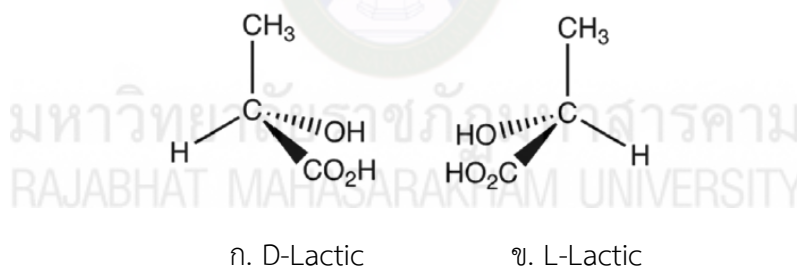
รูปที่ 2.1 วัฏจักรชีวิตของพอลิแลค-แล็กไทด์ (MacDonald และ Shaver., 2016)

ในอดีตการใช้งานของพอลิแลค-แล็กไทด์จำกัดอยู่ในวงการแพทย์ เช่น อุปกรณ์การปลูกถ่ายอวัยวะ (Implant devices) วัสดุค้ำจุนสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ (Tissue scaffolds) และไหมละลาย (Sutures)

เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตสูง หาได้ยากและพอลิเมอร์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำทำให้สมบัติทางกลต่ำ เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ ที่ช่วยให้สามารถผลิตพอลิแอล-แล็กไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงในเชิงพาณิชย์ขึ้นได้ การใช้งานของพอลิเมอร์ชนิดนี้จึงเริ่มขยายออกไป (Datta และ Henry, (2006)) เนื่องจากพอลิแอล-แล็กไทด์เป็นพอลิเมอร์ที่สลายตัวได้และผลิตได้จากวัตถุดิบที่สร้างทดแทนใหม่ได้ จึงคาดกันว่า การใช้วัสดุชนิดนี้จะช่วยลดปัญหาขยะลงได้ และสมบัติความไม่เป็นพิษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมทำให้ พอลิแอล-แล็กไทด์เป็นวัสดุในอนาคตสำหรับงานด้านบรรจุภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เพื่อการอุปโภคด้านอื่นๆ ศึกษางานวิจัยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะพัฒนาพอลิแอล-แล็กไทด์เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งทนทาน (Semi-durable products)

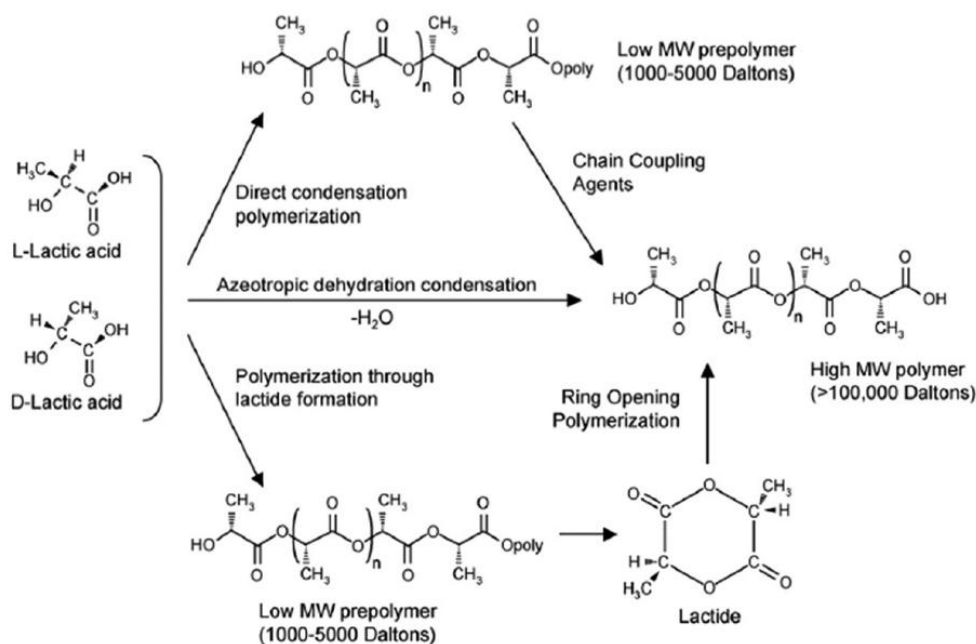
2.1.1 โครงสร้างองค์ประกอบและการสังเคราะห์

พอลิแอล-แล็กไทด์สังเคราะห์ขึ้นจากกรดอัลฟาไฮดรอกซี (α -Hydroxy acids) หน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ของพอลิแอล-แล็กไทด์ คือ กรดแล็กติก หรือมีชื่อทางเคมีคือ 2-ไฮดรอกซี โพรพิโอนิกแอซิด (2-Hydroxy propionic acid) กรดแล็กติกมีไอโซเมอร์สองรูปแบบ คือ แบบดี และแอล (รูปที่ 2.2) ซึ่งเป็นอีนันซีโอ-เมอร์ (Enantiomer) ที่มีความว่องไวต่อแสง (Optical active) ต่างกัน กล่าวคือ มีสูตรเคมีเหมือนกันแต่จัดเรียงตัวในสามมิติไม่เหมือนกัน และบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในรูปแบบแอล-ไอโซเมอร์ หรือพบในรูปแบบของผสมระหว่างแอล-และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่าของผสมราซิมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เขียนแทนด้วย DL) หรือ สารประกอบมีโซ (meso-compound) ซึ่งไม่มีสมบัติบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ (Optically inactive) ปัจจุบันการผลิตกรดแล็กติกอาศัยการหมักเป็นหลัก ซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ที่ดี



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดแล็กติก (อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, 2554)

การผลิตพอลิแอล-แล็กไทด์อาจกระทำโดยสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาการควบแน่นแบบอะซีโอโทรปิก (Azeotropic dehydrative con-densation) ปฏิกิริยาการควบแน่นโดยตรง (Direct condensation polymerization) และ/หรือการสังเคราะห์ผ่านการเกิดแลคไทด์ (Lactide for-mation) (รูปที่ 2.3) พอลิ-แอล-แล็กไทด์น้ำหนักโมเลกุลสูง (มากกว่า 100,000 ดาลตัน) ในเชิงพาณิชย์สังเคราะห์ได้โดยผ่านการเปิดวง (Ring-opening polymerization) ของแล็กไทด์ (Lim *et al.*, 2008) เนื่องจากกรดแล็กติกมีสองไอโซเมอร์สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด (พอลิแอล-แล็กไทด์ (PLLA)) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิก (พอลิดีแอล-แล็กไทด์ (PDLLA)) ในปัจจุบันการผลิตดี-ไอโซเมอร์ของกรดแล็กติกที่บริสุทธิ์นั้นทำได้ยาก การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลักประกอบไปด้วยมอนอเมอร์ชนิด ดี หรือพอลิดี-แล็กไทด์ (PDLA) ในเชิงพาณิชย์จึงยังไม่มี



รูปที่ 2.3 แสดงการสังเคราะห์ PLA (Lim *et al.*, 2008)

พอลิแอล-แลกติกแอซิดมีโครงสร้างผลึกสามรูปแบบ ได้แก่ แอลฟา (α) เบตา (β) และแกมมา (γ) ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอินแนนซีโอ-เมอร์แอล หรือดี,แอล โครงสร้างแบบอัลฟาเป็นโครงสร้างที่เสถียรที่สุด หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส ในขณะที่โครงสร้างเบต้าหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส (Aurus *et al.*, 2004)

2.1.2. สมบัติของพอลิแอล-แล็กไทด์

ความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ของพอลิแอล-แล็กไทด์ส่งผลอย่างมากต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซและของเหลว (Barrier pro-perties) (Tsuji และ *et al.*, 2005); Sarasua *et al.*, 2005) พอลิแอล-แล็กไทด์ที่มีสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีดี-ไอโซเมอร์ในองค์ประกอบเพิ่มขึ้น มีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลงและมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) นอกจากนี้ อุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิกลาสทรานสิชันและระดับความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของแอล-ไอโซเมอร์ที่ลดลงด้วย สัดส่วนของไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิแอล-แล็กไทด์ที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีสมบัติได้หลากหลาย จึงสามารถปรับให้รองรับความต้องการการใช้งานได้กว้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) และ พอลิสไตรีน (PS) พอลิแอล-แล็กไทด์มีความใส และมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซใกล้เคียงกัน

2.1.3 สมบัติการละลาย (Anders *et al.*, 2002)

การละลายของพอลิแอล-แล็กไทด์ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหน่วยที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิเมอร์ และระดับความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) พอลิแอล-แล็กไทด์ไม่ละลายน้ำ แอล-กอสฮอล์ และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เฮกเซน (Hexane) และเฮปเทน (Heptane) ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิแลคติก-แอซิดที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง (Poly(L-lactic acid), PLLA) ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มคลอรีนเตทและฟลูออรีนเตท (Chlorinated or fluorinated organic solvents) ไดออกเซน (Dioxane) ไดออกโซเลน (Dioxolane) และฟูเรน (Furane) ราซิมีคพอลิแอล-แล็กไทด์ (Poly(rac-lactic acid) นอกจากละลายได้ในตัวทำละลายสำหรับพอลิแอล-แล็กไทด์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูงที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ยังละลายได้ใน อะซิโตน (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอทิลแลค-เตท (Ethyl lactate) เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate) เตตระไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran) ไชลีน (Xylene) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide) เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มามิด (N,N-dimethylformamide) และเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone)

2.1.4 สมบัติทางกายภาพและทางกล

พอลิแอล-แล็กไทด์มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 พอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อนำไปผ่านการดึงยืด (Oriented) จะมีสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต (Polyethylene terephthalate, PET) แต่ดีกว่า พอลิสไตรีนที่ผ่านการดึงยืด (Oriented PS) โมดูลัสแรงดึงและแรงดัด (Tensile and flexural moduli) ของพอลิแอล-แล็กไทด์มีค่าสูงกว่าพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิสไตรีน (PS) แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และการยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.1.5 สมบัติทางความร้อน (Dorgan *et al.*, 2002)

พอลิแอล-แล็กไทด์มีอุณหภูมิกลาส-ทรานสิชัน (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป อุณหภูมิกลาส-ทรานสิชันมีค่าขึ้นอยู่กับ น้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนระหว่างอีแนนซี-ไอเมอร์ (L:D ratio) โดยพบว่าอุณหภูมิกลาส-ทรานสิชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล การผสมแอล-อีแนนซีไอเมอร์เข้ากับดีไอแนนซีไอเมอร์ทำให้อุณหภูมิกลาส-ทรานสิชันมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างแอลและดีใกล้เคียงกันมากขึ้น เช่น อัตราส่วนระหว่างแอลต่อดีเป็น 50:50 อุณหภูมิกลาส-ทรานสิชันมีแนวโน้มลดลงมากที่สุด

2.1.6 การนำไปใช้ประโยชน์

เป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติหลากหลายทำให้สามารถนำไปประยุกต์เป็นพลาสติกมูลค่าเพิ่มต่างๆ หลายด้าน ได้แก่

1. ด้านการแพทย์ เนื่องจาก PLA เป็นพอลิเมอร์ ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) สามารถเข้ากับ เนื้อเยื่อ (biocompatible) และสามารถถูกดูดซึม (bioresorbable) ได้โดยระบบชีวภาพ (biological system) ในร่างกาย จึงทำให้ PLA เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับงานทางการแพทย์ และถูกนำมาใช้ ทางด้านนี้มานานกว่า 2 ทศวรรษ เช่น ไหมเย็บแผล (sutures) ตัวเย็บแผล (staples) วัสดุปิดแผล

(wound dressing) อุปกรณ์ฝังในร่างกาย (surgical implants) อุปกรณ์สำหรับยึดกระดูก (orthopedic fixation devices) วัสดุสำหรับนำพาหรือปลดปล่อยตัวยา ซึ่งสามารถควบคุมอัตราและระยะเวลาในการปลดปล่อยยาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ด้านบรรจุภัณฑ์ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง ภาชนะบรรจุอาหาร ขวดน้ำ ถุงพลาสติก กล่อง โฟม พลาสติก สำหรับหีบห่อ เม็ดโพลิเมอร์ กระแทก ตัวเคลือบภาชนะกระดาก

3. ด้านเส้นใย และแผ่นผ้าแบบ non-woven เช่น ผลิตภัณฑ์อนามัย ผ้าอ้อมสำเร็จรูป เสื้อผ้า และ เครื่องนุ่งห่ม เส้นใยสำหรับบรรจุในเครื่องนอน

4. ด้านยานยนต์ เช่น อุปกรณ์ลดแรงกระแทก (bumpers) แผ่นรองพื้น (floor mats) และ อุปกรณ์ตกแต่ง ภายใน

5. ด้านการเกษตร เช่น ภาชนะปลูกพืช วัสดุห่อหุ้มและปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ยตาม ช่วงเวลาที่กำหนด

2.2 การปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)

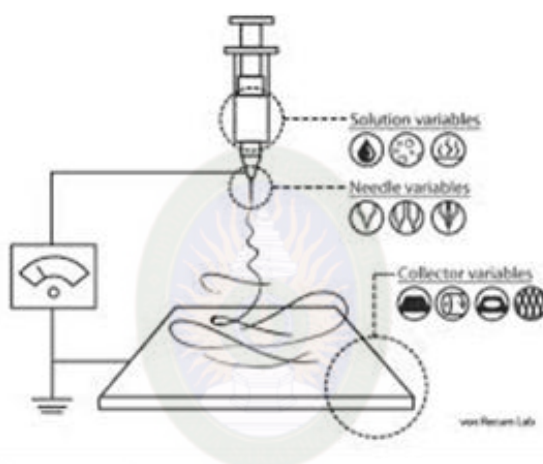
การปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต เป็นเทคโนโลยีใหม่อาศัยประโยชน์จากแรงทางไฟฟ้าสถิตในการผลิตเส้นใย นาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร โดยใช้อุปกรณ์คล้ายไซริงค์ปิเปต ปีม และแผ่นสกรีนรองรับเส้นใย โดยต่อขั้วไฟฟ้าด้านหนึ่งเข้ากับหัวฉีดสารละลายพอลิเมอร์ และต่อขั้วไฟฟ้าอีกด้านหนึ่งเข้ากับแผ่นสกรีนรองรับเส้นใย การไหลของสารละลายพอลิเมอร์ในไซริงค์เกิดจากป๊มป์ที่มีมาตรวัดปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงเคลื่อนสูงระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อสารละลายพอลิเมอร์เคลื่อนที่มาถึงปลายเปิดของปิเปตจะถูกดึงยึดด้วยแรงทางไฟฟ้า และเริ่มเปลี่ยนเป็นรูปกรวย เรียกว่า เทย์เลอร์ โคน (Taylor Cone) เมื่อหยดสารละลายพอลิเมอร์เอาชนะแรงตึงผิวได้ จะเคลื่อนที่ไปยังแผ่นสกรีนรองรับเส้นใยในลักษณะพุ่งเป็นลำ โดยตัวทำละลายจะระเหยออกระหว่างการเคลื่อนที่ ก่อรูปเป็นเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับไมโครบนแผ่นรองรับเส้นใย

การเตรียมแผ่นmembrane สามารถเตรียมได้โดยการใช้เทคนิค electrospinning โดยอาศัยหลักการความต่างศักย์ทางไฟฟ้า อิทธิพลต่างๆในกระบวนการปั่นเส้นใยเช่น ระยะห่างระหว่าง Syringe และ จานรองรับขึ้นรูปเส้นใย (Collector Plate) จากนั้นทำการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้าและศึกษาคุณสมบัติต่างๆของเส้นใย ซึ่งรูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบต่างๆของเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า ขนาดของเส้นใยเป็นปัจจัยต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เช่นเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดไมโครเมตรจะใช้สำหรับเป็นวัสดุค้ำจุนสำหรับเลี้ยงเซลล์และเว็บบใยขนาดนาโนจะใช้สำหรับเป็นวัสดุปิดแผลชนิดที่สามารถป้องกันพวกเชื้อโรคที่มีขนาดไมโครเมตรได้เส้นใยที่ใช้กันในปัจจุบันส่วนมากถูกผลิตขึ้นมาโดยใช้กระบวนการทางกลฉีดพอลิเมอร์เหลวออกจากรูขนาดเล็ก ก่อนจะผ่านขั้นตอนอื่นต่อไป เส้นใยที่ได้มักมีขนาดอยู่ในช่วงหลายสิบล้านไมโครเมตรในกรณีที่ต้องการให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กจะต้องมีการใช้อุปกรณ์และขั้นตอนพิเศษเข้ามาช่วย

วิธีการผลิตเส้นใยด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าสถิต หรือที่เรียกกันว่า Electrospinning process ซึ่งย่อมาจาก Electrostatic spinning process กระบวนการนี้ถูกพัฒนาขึ้นมากกว่า 60 ปีแล้วโดย Formulas แต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเนื่องจาก ข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีในอดีต ในปัจจุบันเทคนิคนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างสูง การผลิตเส้นใยโดยกระบวนการไฟฟ้าสถิตต่างจากวิธีผลิตเส้นใยอื่นคือกระบวนการนี้จะใช้แรงทางไฟฟ้าแทนแรงทางกล โดยพอลิเมอร์เหลวซึ่งอาจจะอยู่ในรูปสารละลาย หรือสารหลอมเหลวที่อยู่ในรูขนาดเล็ก จะถูกทำให้เกิดประจุไฟฟ้าที่ผิวหน้าโดยสนามไฟฟ้าความแรงสูง เนื่องจากประจุที่เกิดขึ้นมีขั้วเหมือนกันจึง

มีแรงผลักระหว่างประจุเกิดขึ้น แรงผลักรนี้เรียกว่า Repulsive Coulombic Force เมื่อมีมาก พอถึงขั้นหนึ่งก็จะไปเอาชนะแรงดึงดูดของพอลิเมอร์เหลวได้ เส้นพอลิเมอร์เหลวก็จะถูกฉีกออกมาและจะเปลี่ยนเป็นเส้นใย โดยการระเหยออกของตัวทำละลาย หรือโดยการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม

กระบวนการผลิตเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิตย์มีข้อดีหลายประการดังนี้ ข้อหนึ่ง เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กมาก โดยทั่วไปจะมีขนาดตั้งแต่หลายสิบนานโนเมตรจนถึงประมาณหนึ่งถึงสอง ไมโครเมตร จึงมักจะถูกเรียกว่าเส้นใยขนาดนาโนหรืออเล็กโทรสปีนนาโนไฟเบอร์ ข้อสอง เนื่องจากเส้นใยมีขนาดเล็กจึงมีพื้นที่ผิวมากเป็นพิเศษในขณะที่มีน้ำหนักเบา ข้อสาม ผ้าที่ได้จากเส้นใยนี้จะมีรูพรุนขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้มีการส่งผ่านของเหลวหรือแก๊สได้ดี ข้อดีต่าง ๆ ดังกล่าวทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกแข่งขันกันพัฒนาการ นำเส้นใยนาโนนี้ไปใช้ในงานต่างๆ เช่น การกรองโมเลกุล การประดิษฐ์ชุดป้องกันอาวุธเคมี และอาวุธชีวภาพของทหาร การสร้างนาโนคอมพอสิต เป็นวัสดุโครงสร้างในวิศวกรรมเนื้อเยื่อ เป็นวัสดุยึดติดสำหรับตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยกระแสไฟฟ้า (Electrospinning) (Athira *et al.*, 2014)

2.2.1 การประยุกต์ใช้งาน

เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และสุขภาพ โดยจะเลือกใช้พอลิเมอร์ที่สามารถย่อยสลายได้ในร่างกาย (biodegradability) ตัวอย่างของ พอลิเมอร์ เช่น poly L-lactic acid (PLA), Chitosan, Polycaprolactone (PCL) เป็นต้น สามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

1) โครงสร้างวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue Engineering Scaffolds) การประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อจะใช้ นาโนไฟเบอร์เป็นโครงสร้างเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อโดยการใช้ นาโนไฟเบอร์เป็นโครงสร้างจะมีข้อดีกว่าไมโครไฟเบอร์คือมีพื้นที่ให้เซลล์ยึดเกาะได้มากกว่า สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า

2) ภายอุปกรณ์ (Medical prostheses) เป็นการนำไปใช้ในการเป็นอวัยวะเทียมหลอดเลือดเทียมเนื้อเยื่อเทียมสำหรับซ่อมแซมกระดูกอ่อน และเส้นประสาท

3) สิ่งตกแต่งแผล (Wound dressing) นาโนไฟเบอร์มีคุณสมบัติที่โดดเด่นใน

ด้านพื้นที่ผิว ดังนั้นในการนำเป็นสิ่งตกแต่งแผลจะมีข้อดีกว่าผ้าก๊อซ คือมีพื้นที่ผิวในการดูดซับของเหลว ได้มากกว่าทำให้แผลแห้งเร็ว และยังเป็นโครงร่างทำให้เซลล์ใหม่เจริญเติบโตได้ดีทำให้แผลหายเร็วและสามารถป้องกันการเกิดแผลเป็นได้ดีกว่า นอกจากนี้ด้วยรูที่มีขนาดเล็กของนาโนไฟเบอร์ยังเป็น สิ่งกีดขวางไม่ให้แบคทีเรียผ่านเข้าไปได้ แต่ยังสามารถระบายอากาศได้ดี นิยมใช้พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติละลายได้เองในร่างกาย เช่น คอลลาเจน ไคโตซาน เป็นต้น

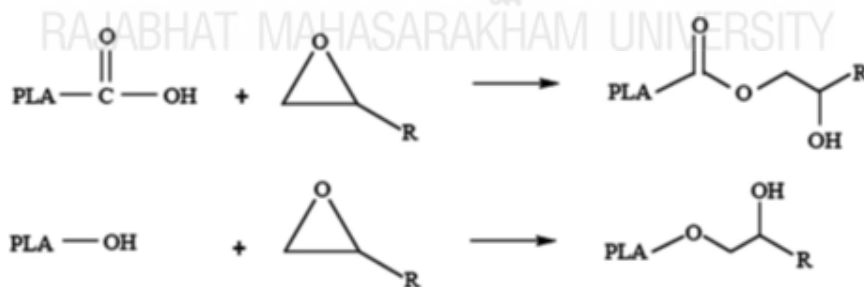
4) เครื่องสำอาง (Cosmetic) โดยใช้เป็นเครื่องมือในการนำส่งเครื่องสำอางเข้าสู่ผิวในลักษณะของแผ่นมาร์ก เนื่องจากแผ่นเส้นใยมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้การบรรจุสารต่างๆ ลงในแผ่นได้ปริมาณมาก

5) ระบบนำส่งยา (Drug delivery system)

ด้วยเหตุผลเดียวกันกับการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง ทำให้สามารถบรรจุยาได้มาก มีการปลดปล่อยยาที่รวดเร็ว และยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาได้

2.3 สารขยายโซ่ (Chain-extender)

สารขยายโซ่(chain extender)เป็นสารชนิดหนึ่งซึ่งนิยมใช้ในการผสมลงในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการเช่นความเหนียว ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์และสามารถทำให้พอลิเมอร์ที่ผสมสารช่วยยืดสายโซ่นั้นใช้งานได้กว้างมากขึ้นโดยเฉพาะค่าดัชนีการหลอมไหล (melt flow index) ที่ส่งผลต่อความหนืดขณะหลอมในกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ และจะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปได้ สารขยายโซ่ที่นิยมใช้ได้แก่ styrene-acrylic, epoxy (ECE) และ polycarbodiimide (PCD) ปฏิกิริยาของการต่อสารขยายโซ่ให้กับพอลิแอล-แล็กไทด์จะเกิดปฏิกิริยาโดยใช้กระบวนการหลอม (melt processing) (Baimark และ Srihanam (2015)) โดยปฏิกิริยาการต่อสายโซ่ของสารขยายโซ่แก่พอลิแอล-แล็กไทด์จะเกิดได้ 2 ตำแหน่งคือบริเวณปลายสายโซ่และบริเวณที่มีหมู่ $-OH$ ภายในสายโซ่ของพอลิแอล-แล็กไทด์ซึ่งปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 2 (a) และ (b)



รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดปฏิกิริยาของพอลิแอล-แล็กไทด์(PLA)บริเวณ (a)ปลายสายโซ่ (b) ภายในสายโซ่ (Khankrua *et al.*, 2014))

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lee และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระบบตัวทำละลายต่อลักษณะเส้นใยของพอลิเอปไซลอน-แคโพรแล็คโตน (Poly (caprolactone) PCL) พบว่ามีเฉพาะ เมทิลลีนคลอไรด์เท่านั้นที่สามารถละลาย PCL ได้ ซึ่งในระหว่างกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงอาจจะหยุดบ่อยครั้งเนื่องจากตัวทำละลายมีจุดเดือดที่ต่ำ พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Dimethyl formamide) ต่อ เมทิลลีนคลอไรด์สามารถทำให้ปั่นเส้นใยของ PCL ได้ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า เส้นใยขนาดนาโนที่ปั่นได้เกิดจาก Dimethylformamide ลดค่าความหนืด และ ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย PCL จากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระบบตัวทำละลายของ เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) ต่อ ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Dimethylformamide) ที่ใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับเตรียมสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol)) จากผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มอัตราส่วน Dimethylformamide ต่อ Tetrahydrofuran ในระบบตัวทำละลายจะทำให้เส้นใยที่ปั่นได้มีขนาดเล็ก เนื่องจาก Dimethylformamide ไปเพิ่มพฤติกรรมการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์แม้ว่าจะเป็นตัวทำละลายที่มีความสามารถละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ได้น้อย

การผลิตเส้นใยขนาดนาโนเมตรของ PLA ได้มีการศึกษาต่อเนื่องมาเรื่อยๆ โดยมีการศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย PLA และตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการที่มีผลต่อลักษณะพื้นฐานของเส้นใยขนาดนาโนเมตรของ PLA เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหล ระยะห่างระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับ GU และ Ren (2005) ได้ทำการศึกษาการละลาย PLA ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบอสัณฐาน โดยทำการละลายในตัวทำละลายผสมระหว่าง คลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วนร้อยละ 2/1 โดยปริมาตร เพื่อจะศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีผลต่อการผลิตเส้นใย PLA โดยทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย PLA ที่เตรียมได้จากสารละลาย PLA ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของสารละลาย PLA มีความสำคัญมากที่สุดต่อการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ในขณะที่เดียวกันจากการศึกษาพบว่า การใช้ความเข้มข้นของสารละลายและศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้นจะให้เส้นใยที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอและเป็นเส้นใยที่ไม่ต่อเนื่อง ผลการศึกษาดังกล่าวมีความสอดคล้องกับการทดลองของ Pattra และคณะ (2008) ซึ่งได้ทำการศึกษา การเตรียมเส้นใยขนาดนาโนเมตรของ PLA ชนิดโมเลกุลที่เป็นแบบสัณฐาน โดยทำการละลาย PLA ในตัวทำละลายผสมระหว่าง ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)/ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Dimethyl formamide) ในอัตราส่วนร้อยละ 60/40 โดยปริมาตร จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารละลายต่ำที่สุดที่สามารถผลิตเส้นใยได้คือ 4 %w/v และค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำที่สุดที่สามารถผลิตเส้นใยได้คือ 10 Kv อย่างไรก็ตามการผลิตเส้นใยโดยใช้ความเข้มข้นและใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้างดกล่าวจะได้เส้นใยที่มีเม็ดบีดปนมาด้วย

ในปี ค.ศ 2004 Yang และคณะ ได้ทำการศึกษาการเตรียมเส้นใย PLA ชนิดโมเลกุลแบบสัณฐานด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยทดลองใช้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 300,000 g/mol ซึ่งเตรียมให้มีความเข้มข้น 1 %w/v โดยใช้ระบบตัวทำละลายของไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)/ไดเมทิลฟอร์มามาไมด์ (Dimethyl formamide) ในอัตราส่วนร้อยละ 70/30 โดยปริมาตร จากนั้นทำการศึกษา ลักษณะพื้นฐานและขนาดการกระจายตัวของเส้นใยที่เตรียมได้ จากการศึกษาพบว่าเส้นใยที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยที่ 272 ± 110 นาโนเมตร นอกจากนี้ Prabhakaran และคณะ (2011) ได้เตรียมเส้นใย PLA ชนิดโมเลกุลแบบสัณฐาน ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยทดลองใช้ PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 100,000 g/mol โดยใช้ เฮกซะฟลูออโรไอโซโพรพานอล (hexafluoroisopropanol) เป็นตัวทำละลาย PLA ให้มีความเข้มข้น 16 %w/v และ Ishii *et al.*, (2009) ได้เตรียมสารละลาย PLA ชนิดโมเลกุล

แบบสัณฐาน ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 800,000 g/mol เตรียมให้มีความเข้มข้น 1 %w/v โดยใช้เฮกซะฟลูออโรไอโซโพรพานอล (hexafluoroisopropanol) เป็นตัวทำละลายเช่นเดียวกัน จากผลการศึกษาพบว่าเส้นใยที่ผลิตได้นั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยที่ 300 นาโนเมตร จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการผลิตและกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลจะส่งผลต่อความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์โดยตรง



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้สำหรับการทดลอง จะใช้พอลิแลคติกแอซิด (Poly(Llactic acid)) ที่ผสมกับสารช่วยยืดสายโซ่ (Chain extender, CE) คือ Styrene acrylic multifunctional epoxide oligomeric agent ในอัตราส่วน 0.5 และ 2.0 phr สืบเคราะห์จากห้องปฏิบัติการของหน่วยวิจัยพอลิเมอร์แตกสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Polymer Research Unit) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

3.2 สารเคมีที่ใช้การทดลอง

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สาร	สูตรโมเลกุล	เกรดสาร	บริษัท
Chloroform	CHCl ₃	AR	RCL Labscan limited
Acetone	C ₃ H ₆ O	AR	RCL Labscan limited
Hexane	C ₂ H ₁₄	AR	RCL Labscan limited
Dichloromethane	CH ₂ Cl ₂	AR	RCL Labscan limited

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาดทดลองในครั้งนี้แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดอุปกรณ์และเครื่องมือ	รุ่น	บริษัท
Scanning electron microscope (SEM)	JSM – 6460LV	JEOL
Electrospinning	Physic model	Physic RMU
Hot plate stirrer	AT SPIN	PASTEL ASSOCIATE
Electrical Balance	Meter – Tolodo Gmbh, Switzerlsnd	TSCALE
Hot air oven	Memmert	Metrology Technical

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การทำบริสุทธิ์พอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA)

ซังเม็ด PLA ที่ผสมสารช่วยยืดสายโซ่ ในอัตราส่วน 0.5 และ 2.0 phr 10.0 กรัม ลงในบีกเกอร์ จากนั้นละลายในไดคลอโรมีเทนปริมาตร 20 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะการปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาตกตะกอนในเฮกเซน ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำมากรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ และนำไปอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อทำการศึกษาวิจัยในขั้นตอนต่อไป

3.4.2 การเตรียมสารละลายพอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA)

เตรียมสารละลายพอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA) ความเข้มข้น 10% w/v โดยการชั่งพอลิแอล-แล็กไทด์ 1.0 g มาละลายในระบบตัวทำละลายแบบผสมของ Chloroform/Acetone ในหน่วย %v/v แสดงดังตารางที่ 3.3 ปริมาตร 10 mL ภายใต้สภาวะการปั่นกวนด้วยเครื่อง Hot plate stirrer เป็นเวลา 4-6 h จะได้สารละลายพอลิแอล-แล็กไทด์ ความเข้มข้น 10% w/v ปริมาตร 10 mL

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายของสารละลาย PLA

ชนิดของ PLA	อัตราส่วนของระบบตัวทำละลายของ	Chloroform/Acetone (% v/v)	
PLA	100/0	85/15	70/30
PLA-0.5 CE	100/0	85/15	70/30
PLA-2.0 CE	100/0	85/15	70/30

3.4.3 การเตรียมแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ (PLA)

นำสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 3.4.2 มาขึ้นรูปด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง โดยกำหนดสภาวะของเครื่องคือ ใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 12.0 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm และอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 0.3 mL/h ระยะเวลาในการปั่นทุกตัวอย่างเท่ากับ 6 ชั่วโมง

3.4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของแผ่นเมมเบรน

นำตัวอย่างแผ่นเมมเบรนที่เตรียมได้มาถ่ายภาพเพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง ทั้งนี้ตัวอย่างจะถูกนำไปเคลือบด้วยทอง (Gold coating) โดยเครื่อง Vacuum Sputter Coater ที่มีความหนา 15 nm จากนั้นลักษณะสัณฐานวิทยาของผิวตัวอย่างจะถูกถ่ายออกมาเป็นภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microcopy ที่กระแสไฟฟ้า 10 kV

3.4.5 การศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยของแผ่นเมมเบรน

ทำการศึกษาการกระจายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเมมเบรน โดยนำภาพถ่ายที่ได้จากเครื่อง Scanning Electron Microscopy มาทำการวัดขนาดเส้นใยเฉลี่ย โดยใช้โปรแกรม nano VB ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยโดยการลากจุดบนเส้นใยอย่างน้อย 3 จุด ต่อหนึ่งเส้น

3.4.6 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกล

ศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน นำแผ่นเมมเบรนที่ได้จากการปั่นเส้นใยเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงของทุกๆตัวอย่าง ทำการตัดแผ่นเมมเบรนให้มีขนาด 10.0×50.0 มิลลิเมตร ต่อชิ้นงาน โดยทำการวางซ้อนชิ้นงานของแผ่นเมมเบรน 3 แผ่นซ้อนกัน ความหนาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 ไมโครเมตร โดยกำหนดระยะการดึง 20.0 มิลลิเมตร อัตราเร็วของการดึงเท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/นาที Preload เท่ากับ 0.5 N ทุกๆตัวอย่างจะทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ครั้ง



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4

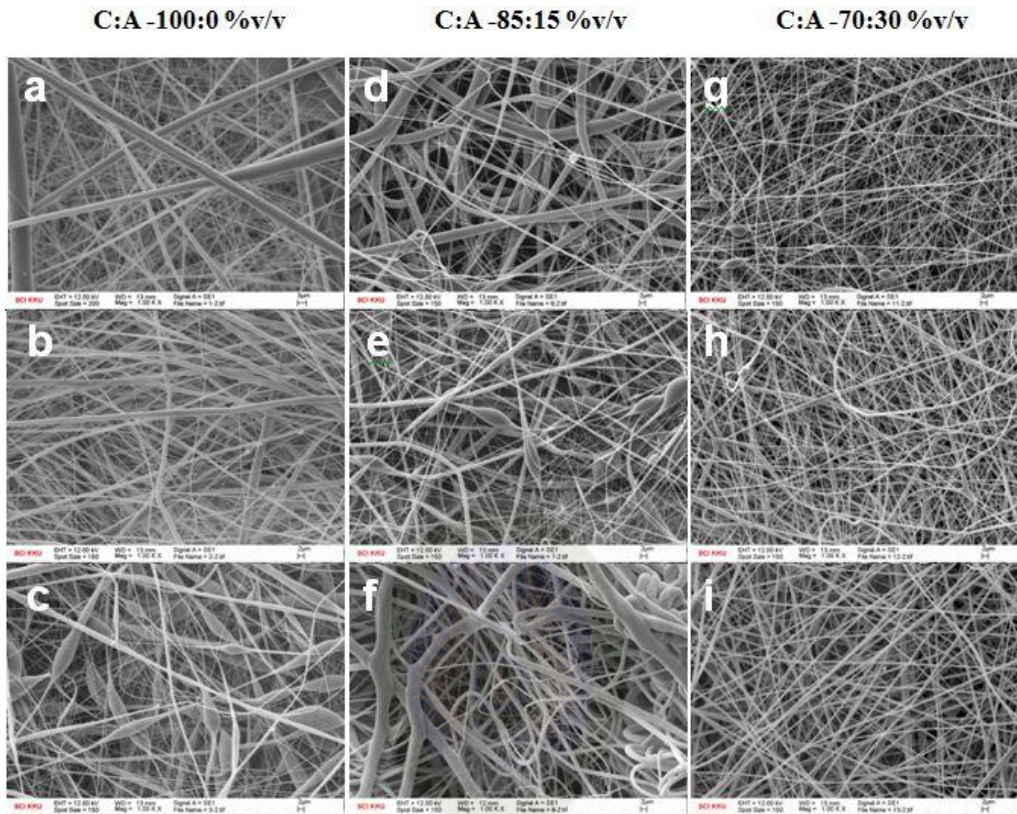
ผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของสารขยายโซ่ที่มีผลต่อคุณสมบัติของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์ (Poly(L-lactide), PLA) อัตราส่วนผสมสารขยายโซ่ที่ใช้คือ 0.5 และ 2.0 phr. ก่อนจะได้แผ่นเมมเบรน ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของระบบตัวทำละลายของสารละลาย PLA ที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิต จากนั้นได้เลือกระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการปั่นเส้นใยของแผ่นเมมเบรนและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน ซึ่งจากการศึกษาได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 อิทธิพลอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายต่อลักษณะสัญญาณของเส้นใยแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์

จากรูปที่ 4.1 เป็นผลการศึกษาลักษณะสัญญาณของเส้นใยแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) จากรูป (a) (b) และ (c) เป็นเส้นใยของ PLA-ที่ไม่ได้ผสม CE ที่เตรียมจากสารละลายด้วยระบบตัวทำละลายของ คลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วน 100:0 85:15 และ 70:30 ตามลำดับ จากรูปจะเห็นได้ว่าในอัตราส่วน 100:0 (รูป (a)) จะให้เส้นใยที่มีลักษณะแบนและต่อเนื่อง สานเรียงกันไปมาเส้นใยมีขนาดเล็กในขณะที่อัตราส่วน 85:15 จะให้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่และมีเส้นใยขนาดเล็กปะปนอยู่ จากภาพจะสังเกตเห็นได้ว่าเส้นใยมีขนาดใหญ่มากเมื่อเทียบกับเส้นใยในรูป (a) จากรูป (c) จะเห็นว่าเส้นใยมีขนาดเล็กมีลักษณะกลมมีความสม่ำเสมอและมีความต่อเนื่องเมื่อเทียบกับรูป (a) และ (b) และมีเม็ดบีดที่เกิดขึ้นเล็กน้อย ในรูป (d) (f) และ (g) เป็นเส้นใยของแผ่นเมมเบรนของ PLA-ที่ผสมกับ CE ในอัตราส่วน 0.5 (PLA-0.5 CE) ที่เตรียมจากสารละลายด้วยระบบตัวทำละลายของ คลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วน 100:0 85:15 และ 70:30 ตามลำดับ จากผลการศึกษาจะเห็นว่า PLA-0.5 CE ที่เตรียมได้จากระบบตัวทำละลาย 100:0 ในรูป (d) จะให้เส้นใยที่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเส้นใยของ PLA ที่ไม่ได้ผสม CE ที่เตรียมจากสารละลายด้วยระบบตัวทำละลายของ คลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วนเดียวกัน ในขณะที่อัตราส่วน 85:15 (รูป(e)) จะให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กและมีเม็ดบีดปะปนอยู่ จากรูป (f) เส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA-0.5 CE ที่เตรียมได้จากระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วน 70:30 จะให้เส้นใยที่มีลักษณะสม่ำเสมอ และมีความต่อเนื่องเมื่อเทียบกับเส้นใยในรูป (d) และ (e) จากผลการศึกษาการเตรียมแผ่นเมมเบรนของ PLA เมื่ออัตราส่วนของสารขยายโซ่เพิ่มขึ้นเป็น 2.0 phr เมื่อนำมาเตรียมสารละลายโดยใช้ระบบตัวทำละลายในอัตราส่วนเดียวกันกับ PLA และ PLA-0.5 CE จะให้เส้นใยดังแสดงในรูป (g-i) จากการศึกษาพบว่า ในอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายเท่ากับ 100:0 และ 85:15 (รูป (g) และ (h)) จะให้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ไม่มีความสม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยในรูป (i) ที่เตรียมโดยการเพิ่มอัตราส่วนของอะซิโตนในระบบตัวทำละลายเป็น 30% v/v จะเห็นว่าเส้นใยมีลักษณะที่ต่อเนื่องและมีเส้นเล็กมีความสม่ำเสมอ จากการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่าการใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความสามารถในการละลายและค่าแรงดึงผิวของสารละลาย PLA (Baimark & Srihanam (2015))

จึงทำให้เส้นใยของแผ่นเมมเบรนที่เตรียมได้มีลักษณะที่แตกต่างกันเมื่อใช้สภาวะในการปั่นเส้นใยในสภาวะเดียวกัน

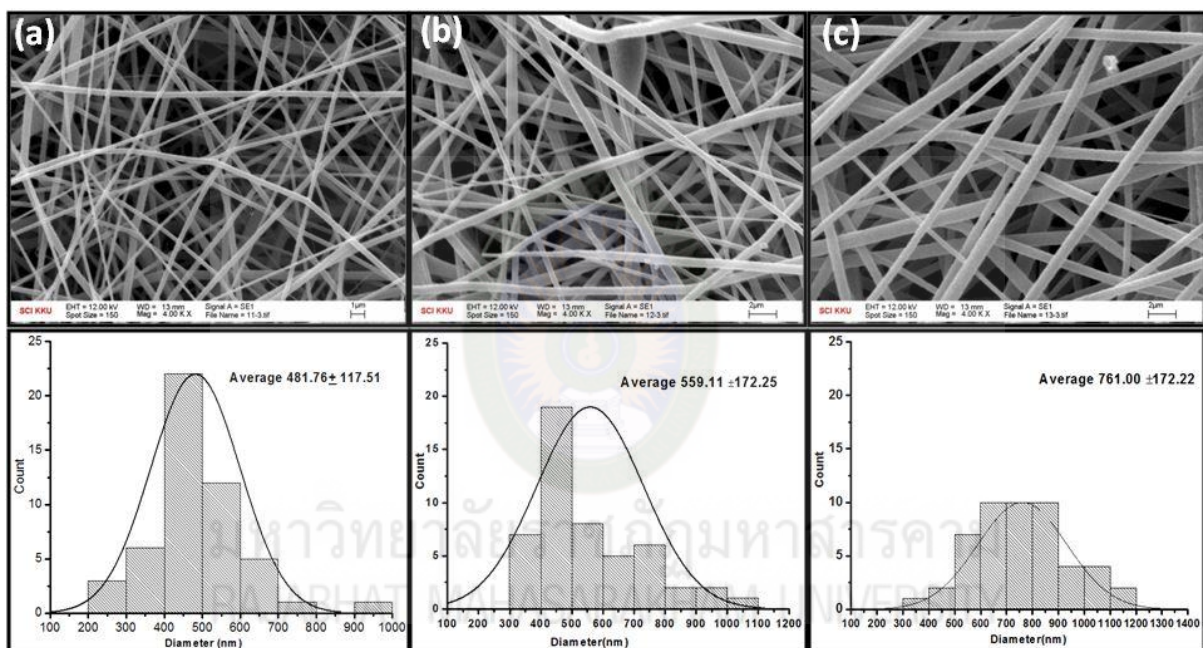


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะสัณฐานของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของ PLA (a- c) PLA-0.5 CE (d-f) และ PLA-2.0 CE (g-h) เตรียมได้จากสารละลายที่ใช้ระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วน 100:0 85:15 และ 70:30 ตามลำดับ

4.2 อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อการกระจายตัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์

จากรูปที่ 4.2 จะแสดงอิทธิพลของการกระจายตัวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนแอล-แล็กไทด์ โดยเฉลี่ยโดยนำเส้นใยของ PLA PLA-0.5CE และ PLA-2.0CE ที่เตรียมได้จากระบบตัวทำละลายของคลอโรฟอร์ม/อะซิโตน ในอัตราส่วน 70:30 จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า เมื่ออัตราส่วนของสารขยายโซ่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เส้นใยที่เตรียมได้มีขนาดใหญ่ขึ้นและการกระจายตัวที่สูงขึ้น โดยเส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA ที่ไม่ได้ผสมสารขยายโซ่มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 481.76 ± 117.51 ขณะที่เส้นใยของแผ่นเมมเบรน PLA ที่ผสมสารขยายโซ่ในอัตราส่วน 0.5 และ 2.0 phr มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 559.11 ± 172.25 และ 761.00 ± 172.22 ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 4.1 จากผลการศึกษาจะแสดงให้เห็นว่าการผสมสารขยายโซ่จะส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยของแผ่นเมมเบรนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการผสมสารช่วยยืดสายโซ่ จะส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของ PLA เพิ่มขึ้นจึงส่งผลต่อความ

หนืดและค่าดรชนีหักเหของสารละลาย (Baimark & Srihanam (2015)) ดังนั้นการผสมสารขยายไซท์ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน เมื่อนำPLAมาละลายในระบบตัวทำละลายเดียวกัน ให้สารละลายมีความเข้มข้นเท่ากัน จึงส่งผลให้ค่าความหนืดและค่าดรชนีหักเหของสารละลาย PLA ที่เตรียมได้แตกต่างกัน ดังนั้นเส้นใยที่ปั่นได้จากสารละลายที่มีค่าความหนืดและค่าดรชนีหักเหที่ต่างกัน จึงให้เส้นใยของแผ่นเมมเบรนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกัน การศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนี้ จะทราบถึงแนวโน้มของขนาดรูพรุนของแผ่นเมมเบรนซึ่งขนาดรูพรุนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นใยเมื่อเส้นใยมีขนาดเล็กสานกันไปมากก็ส่งผลให้แผ่นเมมเบรนมีขนาดรูพรุนที่เล็กในทางตรงกันข้ามหากขนาดของเส้นใยมีขนาดใหญ่เมื่อสานกันไปมากก็ส่งผลให้แผ่นเมมเบรนมีขนาดรูพรุนขนาดใหญ่ด้วย เมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุปิดแผล จะส่งผลต่อค่าอัตราการผ่านของไอน้ำของบาดแผล (Alipilakkotte *et al.*, 2017)



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะพื้นฐานและอิทธิพลของขนาดการกระจายตัวของเส้นใยแผ่นเมมเบรนของ (a) PLA (b) PLA-0.5 CE และ (c) PLA-2.0 CE ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 แสดงอิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อค่าการกระจายตัวของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยแผ่นเมมเบรนโดยเฉลี่ยและลักษณะสัณฐานของเส้นใยแผ่นเมมเบรน

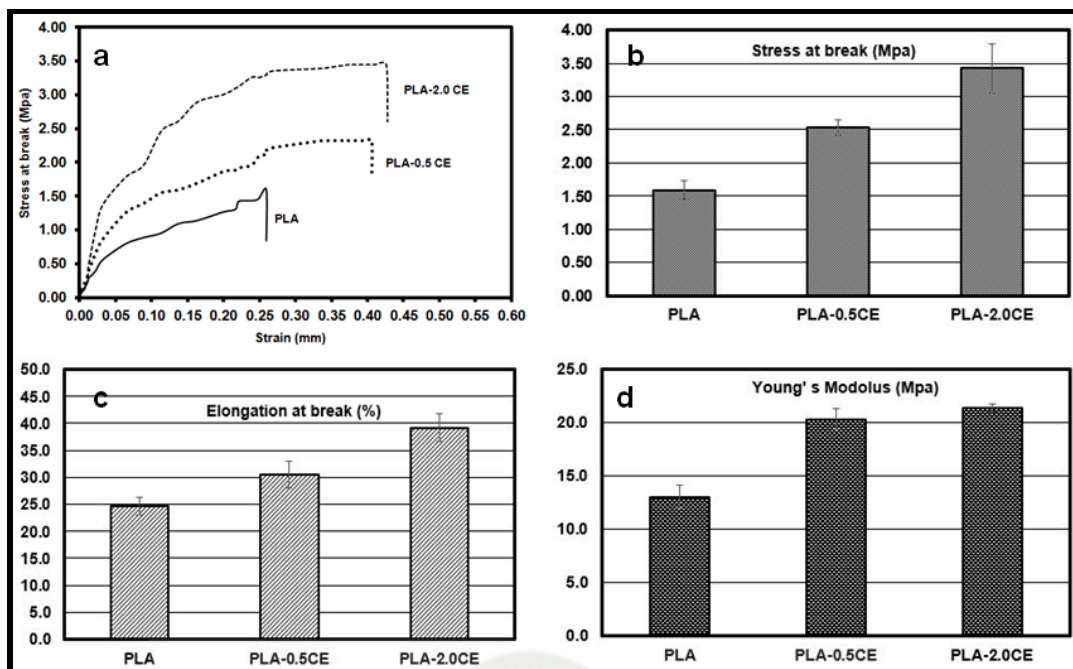
สารละลายที่ใช้เตรียมเส้นใย	เส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ย (nm)	ลักษณะของเส้นใย
PLA	481.76 ± 117.51	เส้นใยมีขนาดเล็ก ต่อเนื่อง การกระจายตัวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยค่อนข้างต่ำ
PLA-0.5CE	559.11 ± 172.25	เส้นใยมีขนาดใหญ่ ต่อเนื่อง การกระจายตัวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยค่อนข้างสูง
PLA-2.0CE	761.00 ± 172.22	เส้นใยมีขนาดใหญ่ การกระจายตัวขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอ

4.3 อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์

อิทธิพลของสารขยายโซ่ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนของพอลิแอล-แล็กไทด์ แสดงดังตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราส่วนของสารขยายโซ่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง (strength) และค่าร้อยละของการยืดตัว (% Elongation) ของแผ่นเมมเบรนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนของสารขยายโซ่ยังส่งผลให้ค่า โมดูลัส ยิงส์ ของแผ่นเมมเบรนเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารขยายโซ่ 0.5 และ 2.0 phr จะเห็นว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึง (strength) ของแผ่นเมมเบรนที่ผสมสารยึดสารโซ่ในอัตราส่วน 2.0 phr จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง (strength) และค่าโมดูลัส ยิงส์ ที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 0.5 phr ในขณะที่ค่า ร้อยละของการยืดตัว (% Elongation) ของแผ่นเมมเบรนที่ผสมสารยึดสารโซ่ 0.5 และ 2.0 phr มีค่าใกล้เคียงกัน ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.3 จากผลการศึกษาสามารถอธิบายได้ว่าการผสมสารขยายโซ่กับ PLA จะทำให้สารละลาย PLA มีมวลโมเลกุลสูงขึ้น มีความหนืดเพิ่มขึ้น และมีค่าดัชนีการหลอมไหล(Melt flow index)ลดลง (Baimark & Srihanam (2015)) เมื่อนำสารละลายที่มีความหนืดมาปั่นเส้นใยด้วยระบบไฟฟ้าสถิตย์จะทำให้เส้นใยของแผ่นเมมเบรนมีขนาดใหญ่ขึ้นจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มมากขึ้น และส่งผลให้ค่าร้อยละการยืดตัวของแผ่นเมมเบรน PLA เพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นของสารละลาย PLA ที่ใช้ในการเตรียมแผ่นเมมเบรน

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรนพอลิแอล-แล็กไทด์

Sample	Mechanical properties		
	Strength (MPa)	% Elongation	Young's Modulus (Mpa)
PLA	1.59±0.14	12.99±1.08	24.76± 1.64
PLA-0.5 CE	2.53±0.11	20.28±1.10	30.50± 2.42
PLA-2.0 CE	3.43±0.37	21.28±0.38	39.17± 2.56



รูปที่ 4.3 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นเมมเบรน (a) Stress-strain curve (b) Stress at break (c) Elongation at break และ (d) Young's Modulus