รายการอ้างอิง

1. เซลล์เชื้อเพลิง แหล่งพลังงานสำหรับศตวรรษที่ 21 (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http//www.material.chula.ac.th/RADIO44/januarv/radio1-8htm
2. สุมิตรา จรสโจรน์กุล. เซลล์เชื้อเพลิง : พลังงานสะอาด ทางเลือกแห่งอนาคต (ออนไลน์). ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ แหล่งที่มา : http:// www.nsdta.or.th/pr/press/fuel/
3. Kuan, H. C., Ma, C. M., Chen, K. H., and Chen, S. M. Preparation, electrical, mechanical, and thermal properties of composite bipolar plate for a fuel cell. Journal of Power Sources (2004) : 1-11.
4. ทรงวุฒิ นิรัญศิลป์. การสร้างชั้นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์เมมเบรน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546.
5. สุภาพร เทอดเทียนวงศ์ และคณะ, เซลล์เชื้อเพลิงแบบพอลิเมอร์ของแข็ง. การประชุมผู้เชี่ยวชาญเซลล์เชื้อเพลิง ครั้งที่ 1 สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543
6. How does the fuel cell ? (Online). Available from : http://www.elanese.de/gb2002/ en/ magazine/growth/02/
7. Benefits to the fuel cell system (online). Available from : http://www.pemeas.com/Benefits.e.htm
8. Cooper, J. S. Design analysis of PEMFC bipolar plates considering stack manufacturing and environment impact. Journal of Power Sources (2004) : 1-8.
9. Middelman, E., Kout, W., and Vogelaar, B. Bipolar plates for PEM fuel cells. Journal of Power Sources 118 (2003) : 44-46.
10. Pylkkanen, T., and Scherer, G. G. Fuel cell with flexible graphite bipolar plate (online). Available from: http//ene.web.psi.ch/Annex5_PDF/Electrochemistry/090_091.pdf.
11. Metha, V., and Cooper, J. S. Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. Journal of Power Sources 114 (2004) : 32-53.
12. Mark, V. B. Composites Materials, the University of Alabama in Huntsville,Huntsville, Alabama, 2000.

13. Hull, D. Clyn, T. W. An Introduction to composite materials. 2nd edition : Cambridge University Press, 1996.

14. Schwart, M. M. 1997. Composite Materials. Properties, Non destructive Testing and Repair. Vol.I : Prentice Hall PTR.

15. ทฤษฎีพอลิเมอร์คอมพอสิต (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_theory.html

16. ส่วนเสริมแรง (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http:/www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_sermlang.html

17. เทอร์โมพลาสติก (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http:// www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_thermoplas.html

18. Ishida, H. Processing of Particulate-filled and fiber reinforced polymers : The Petroleum and petrochemical Collage, Chulalongkorn University, Bangkok,

19. อิทธิพล แจ้งชัด. พอลิเมอร์คอมโพสิต : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.

20. พอลิพรอพิลีน (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http:// www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_poly.html

21. Carbon fiber, Carbon–Polymer Composites and carbon-Carbon Composites (Online). Available from : http:// callisto.my.mtu.edu/MY472/class14/class14.html

22. Composite Materials Handbook (Online). Available from : http://Old.lib.ucdavis.edu/pept/pse/fulltext/HDBK17-5.pdf.

23. คาร์บอนแบล็ค (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.cancarb.com/thermax3.html

24. อิทธิพล แจ้งชัด. เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีการยาง : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544

25. John, V. A. The impact of carbon black morphology and dispersion on the weatherability of polyethylene, The International Wire and Cable Symposium. Atlantic city, 1999.

26. พันธะโคเวเลนซ์กับโครงผลึกร่างตาข่าย (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.chem.wise.edu/~newtrad/CurrRef/BDGTopic/BDGtext/BDGGraph.html

27. Heinzel, A., Mahlendorf, F., Niemzig, O., and Kreuz, C. Injection moulded low cost bipolar plates for PEM fuel cells, Journal of Power Sources (2004) : 1-6.

28. Cho, E. A., Jeon, U.-S., Hong, S.-A., and OH, I-H. Characteristics of composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells, Journal of Power Sources (2003) : 1-5.

29. Koncar. et al. Proton exchange membrane fuel cell separator plate. US 5,942,347

30. Wu, M., and Shaw, L. L. On the improve properties of injection-moulded, carbon nanotube-filled PET/PVDF blends. Journal of Power Sources (2004) : 1-8.

31. Wu, M., and Shaw, L. L. A novel concept of carbon-filled polymer blends for applications in PEM fuel cell bipolar plates. International Journal of Hydrogen Energy 2004 : 1-8.

32. Thongruang, W., Spontak, R. J., and Balik, C. M. Correlated electrical conductivity and mechanical property analysis of high-density polyethylene filled with graphite and carbon fiber. Polymer 43 (2004) : 2279-2286.

33. Taipalus, R., Harmia, T., Zhang, M. Q., and Friedrich, K. The electrical conductivity of carbon-fiber-reinforced polypropylene/polyaniline complex-blends: experimental characterization and modeling, Composites Science and Technology 61 (2001) : 801-814.

34. Standard Test Method for Electrical Resistivity of Manufactured Carbon and Graphite Articles at Room Temperature. ASTM C611

35. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D590-98

36. Standard Test Method for Flexible Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D790-02

37. Standard Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D785-98

38. Jousse, F. et al. EUROMAT199. Biannu.Meet.Fed.Eur.Mater.Soc.(FEMS) 13 (2001) : 181-186.

39. Lawrance. Low cost bipolar plate current-separator for electrochemical cells, US 4,214,969

40. Balko. et al. Carbon fiber reinforced fluoro carbon-graphite bipolar current collector-separator, US 4,339,322

41. Wilson. et al. Composite bipolar plate for electrochemical cells. US 6,248,467

42. Huang, J., Baird, D. G., and McGrath, J. E. Development of fuel cell bipolar plate from graphite filled wet-lay thermoplastic composite materials. Journal of Power Sources (2005) : 1-10.

43. Busick, D. N., and Wilson, M. S. Fuel Cell Bull 2 (1999).

44. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. สารปรับแต่งพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท บุ๊คเน็ท จำกัด, 2547.

45. Lopez, M. A., Valentini, L., Biagiotti, J., and Kenny, J. M. Thermal and mechanical properties of single-walled carbon nanotubes polypropylene composites prepared by melt processing. Carbon 43 (2005) : 1499-1505.

46. Buchi, F. N., Ruge, M. Development of a bipolar element for PE-fuel cells demonstration in a 6 kW stack.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ก-1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน เกรด 1100NK

สมบัติ	
ดัชนีเมลต์โฟลว์ (กรัม/นาที)	11
ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)	35
ความทนทานต่อการกระแทกแบบชาร์ปี (มิลลิจูล/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	2.7
มอดุลัสเฉือน (นิวตัน/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	720
ความแข็งกด (นิวตัน/ลูกบาศก์มิลลิเมตร)	85
อุณหภูมิการบิดเบี่ยวทางความร้อน (องศาเซลเซียส)	110

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัดมหาชน (TPI)

ก-2 สมบัติของอะเซทิลีนแบล็ค เกรด HICON BLACK 50P

ข้อกำหนด

สีที่ปรากฏ	ผงสีดำ
การกดอัด (ร้อยละ)	50

สมบัติทางกายภาพ

ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	0.03
ความหนานแน่นจุดไหลเท (กรัม/มิลลิลิตร)	0.087
สภาความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม.เซนติเมตร)	0.17
ตัวเลขการดูดซับไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร/ 5 กรัม)	21.8
อนุภาคหยาบ (ร้อยละ)	< 0.01
ตัวเลขการดูดซับไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม)	157.7
บริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.08
ขนาดอนุภาค (นาโนเมตร)	30-40

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกัลไทย จำกัดมหาชน (TPI)

ก-3 องค์ประกอบของแกรไฟต์

ขนาดอนุภาคน้อยกว่า 50 ไมโครเมตร (ร้อยละ)	99.5

ข้อจำกัดสูงสุดของสารเจือปน

ปริมาณสารที่ละลายได้ในเอทานอล (ร้อยละ)	0.2
ส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ 800 องศาเซลเซียส (ร้อยละ)	1
การสูญเสียจากการทำให้แห้งที่ 120 องศาเซลเซียส (ร้อยละ)	0.5

หมายเหตุ ข้อมูลจาก BDH

ก-4 สมบัติของเส้นใยคาร์บอน เกรด PAN AGM 94

ปริมาณคาร์บอน	น้อยที่สุด 94
ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	150
พื้นที่ผิว (ตารางเมตร/กรัม)	0.99
สภาพความต้านทานตามแนวแกน (โอห์ม.เซนติเมตร)	0.0014

หมายเหตุ ข้อมูลจาก Asbury graphite Mill, Inc. www.asbury.com

ก-5 สมบัติของซิงค์สเตียเรท (purum)

การวิเคราะห์คุณภาพ

ปริมาณสังกะสี (ร้อยละ)	10 – 12
เถ้า (ร้อยละ)	12 – 15
การสูญเสียจากการทำให้แห้งที่ 105 องศาเซลเซียส (ร้อยละ)	มากที่สุด 1
กรดอิสระ เช่น กรดสเตียริก (ร้อยละ)	มากที่สุด 3.5

หมายเหตุ ข้อมูลจาก Singma-Aldrich

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

1. การหาค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ตัวอย่างการคำนวณค่าการนำไฟฟ้าของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ข-1 ความต่างศักย์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ประเภทชิ้นงาน	กระแสไฟฟ้า (A)	การจัดวางคอมโพสิต	ทิศทางกระแสไฟฟ้า	ความต่างศักย์ (mV) ตำแหน่งอิเล็กโตรด			
				1	2	3	4
10AB	0.001	ด้านหน้า	ไปข้างหน้า	837	837	837	838
			ย้อนกลับ	837	837	838	837
		ด้านหลัง	ไปข้างหน้า	837	837	837	838
			ย้อนกลับ	837	838	837	837

หาการนำไฟฟ้าจากสมการที่ 1.1-1.3 ตามลำดับ

$$R_{AV} = \frac{V_{AV}}{I} \quad (1.1)$$

$$\rho = \frac{R_{AV} \times d \times W}{L} \quad (1.2)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1.3)$$

โดย V_{av} = ความต่างศักย์เฉลี่ย (โวลต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

R_{av} = ความต้านทานเฉลี่ย (โอห์ม)

d = ความหนาของชิ้นงาน (เซนติเมตร)

W = ความกว้างของชิ้นงาน (เซนติเมตร)

L = ระยะห่างระหว่าง potential contact (เซนติเมตร)

ρ = สภาพความต้านทานไฟฟ้า (โอห์ม.เซนติเมตร)

σ = สภาพการนำไฟฟ้า (ซีเมนส์/เซนติเมตร)

หาความต้านทานจากสมการ 1.1

ความต่างศักย์เฉลี่ย (V_{av}) =

$$\frac{837+837+837+838+837+837+838+837+837+837+837+838+837+838+837+837}{16}$$

= 837.25 มิลลิโวลต์

ความต้านทาน (R_{av}) = $\frac{837.25}{0.001}$ = 837.25 โอห์ม

หาสภาพความต้านทานไฟฟ้าจากสมการ 1.2

หน้าตัด (A) = d x W

= 57.9675 ตารางมิลลิเมตร

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (I) = 78 มิลลิเมตร

ดังนั้นสภาพความต้านทานไฟฟ้า (ρ) = $\frac{837.25 \times 57.9675}{78}$

= 622.2216 มิลลิโอห์ม

หาการนำไฟฟ้าจากสมการที่ 1.3

$$\text{การนำไฟฟ้า } (\sigma) = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{622.2216}$$

= 0.0016 ซีเมนส์/มิลลิเมตร

= 0.016 ซีเมนส์/เซนติเมตร

2. การหาความหนาแน่น

ตัวอย่างการคำนวณความหนาแน่นของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ข-2 น้ำหนักและปริมาตรของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ประเภทชิ้นงาน	ชิ้นงานที่	น้ำหนัก	ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
10AB	1	0.9460	1.0928
	2	0.8387	0.9463
	3	0.9373	1.0218

หาความหนาแน่นจากสมการ 1.4

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{น้ำหนัก}}{\text{ปริมาตร}} \qquad (1.4)$$

ชิ้นงานที่ 1 : ความหนาแน่น $= \frac{0.946}{1.0928}$

= 0.8657 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ชิ้นงานที่ 2 : ความหนาแน่น $= \frac{0.8387}{0.9463}$

= 0.8863 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ชิ้นงานที่ 3 : ความหนาแน่น $= \frac{0.9373}{1.0218}$

$= 0.9173$ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

ความหนาแน่นเฉลี่ย $= \frac{0.8657 + 0.8863 + 0.9173}{3} = 0.890$ กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. **การหาร้อยละการดูดซับน้ำ**

ตัวอย่างการคำนวณการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ ข-3 น้ำหนักของพอลิเมอร์คอมโพสิตของอะเซทิลีนแบล็คร้อยละ 10 โดยน้ำหนักก่อนและหลังแช่น้ำ

ประเภทชิ้นงาน	ชิ้นงานที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	การดูดซับน้ำ (ร้อยละ)	เฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
10AB	1	5.4732	5.4740	0.01462	0.010	0.007
	2	5.0734	5.0735	0.00197		
	3	5.1710	5.1717	0.01354		

หาการดูดซับน้ำจากสมการ 1.5

$$\text{ปริมาณน้ำดูดซับ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \qquad (1.5)$$

ชิ้นงานที่ 1 : ปริมาณน้ำดูดซับ (ร้อยละ) $= \frac{5.4740 - 5.4732}{5.4732} \times 100$

$= 0.01462$

ชิ้นงานที่ 2 : ปริมาณน้ำดูดซับ (ร้อยละ) = $\frac{5.0735 - 5.0734}{5.0734}$ X 100

= 0.00197

ชิ้นงานที่ 3 : ปริมาณน้ำดูดซับ (ร้อยละ) = $\frac{5.1717 - 5.1710}{5.1710}$ X 100

= 0.01354

ปริมาณน้ำดูดซับเฉลี่ย (ร้อยละ) = $\frac{0.01462 + 0.00197 + 0.01354}{3}$

= 0.010

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเอื้องดาว จันทร์ดร เกิดวันที่ 8 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2522 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสตรีศรีสุริโยทัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพ.ศ. 2545