รายการอ้างอิง

1. H. Wolf and M. Willert – Porada. Electrically conductive LCP – carbon composite with low carbon content for bipolar plate application in polymer electrolyte membrane fuel cell, Journal of Power Sources, 153 (2006), pp. 41 – 46.

2. J. Larminie and A. Dicks. Fuel Cell Systems Explained. Chichester : John Wiley &Sons Ltd., 2nd edition, 2003.

3. EG & G Technical Service, Inc. Science Applications International Corperation, Fuel Cell Handbook. U.S. Department of Energy, 6th edition, 2002.

4. V. Metha. Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing. Journal of Power Sources, 114 (2003), pp. 32 – 53.

5. A. Hermann, T. Chaudhuri and P. Spagnol. Bipolar plates for PEM fuel cells : A review. Journal of Hydrogen Energy, 30 (2005), pp. 1297 – 1302

6. R. Meissner, M. Irgang, K. Eger, P. Weidlich and H. Dreyer. US patent 5,736,076, 7, (1998), April.

7. ส่วนเสริมแรง (ออนไลน์). แหล่งที่มา :
http://www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_sermlang.html
[2005, June 8]

8. K. Robberg. Handbook of fuel cells : Fundamentals, Technology and Applications. New York : John Wiley &Sons Ltd., 2003

9. Graphite (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.h2fc.com [2005, September 14]

10. พันธะโคเวเลนซ์กับโครงร่างผลึก (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://www.chem.wisc.edu/~newtrad/CurrRef/BDGTopic/BDGtext/BDGGraph.html [2005, November 11]

11. ของแข็งโคเวเลนซ์ (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://www.chm.bris.ac.uk/pt/harvey/gcse/covalent.html [2005, August 11]

12. เทอร์โมพลาสติก (ออนไลน์) แหล่งที่มา :
http://www.nationalpark.go.th/biocom/garbage_thermoplas.html
[2005, September 7]

13. T. J. Reinhart, Engineer Materials Handbook Vol.1: Composites, Ohio : ASM International, 1995.

14. ปรีชา พหลเทพ, โพลีเมอร์, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2544.

15. สมศักดิ์ วรมงคลชัย, สารปรับแต่งพอลิเมอร์, บริษัทบุ๊คเน็ท, 2547.

16. H. Ishida. Processing of Particulate – filled and fiber reinforced polymer : The petroleum and petrochemical collage, Chulalongkorn University, Bangkok.

17. H. Kuan, C. C. M. Ma, K. H. Chen and S. M. Chen. Preparation, electrical, mechanical and thermal properties of composite bipolar plate for a fuel cell, Journal of Power Sources, 134 (2004), pp. 7 – 17.

18. L. Vovchenko, L. Matzui, T. Tzaregradska and O. Stelmakh. Influence of graphite type on electrical and thermal properties of composite materials graphite – organic compound. Composites Sci & Tech, 63 (2003), pp. 807 – 812.

19. I. Novak and I. Krupa. Electro – conductive resins filled with graphite for casting applications. European Polymer Journal, 40 (2004), pp.1417 – 1422.

20. J. Huang, D. G. Baird and J. E. McGrath. Development of fuel cell bipolar plates from graphite filled wet – ley thermoplastic composite materials. Journal of Power Sources, 150 (2005), pp. 110 – 119.

21. เอื้องดาว จันทร์ดร, การเตรียมแผ่นนำไฟฟ้าสองขั้วจากพอลิพรอพิลีนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงพีอีเอ็ม, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

22. Standard Test Method for Electrical Resistivity of Manufactured Carbon and Graphite Articles at Room Temperature. ASTM C611 – 98.

23. Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D570 – 98.

24. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. ASTM D790 – 03.

25. Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness. ASTM D2240 – 04.

26. E. A. Cho, U. S. Jeon, H. Y. Ha, S. A. Hong and I. H. Oh. Characteristics of composite bipolar plates for polymer electrolyte membrane fuel cells. Journal of Power Sources, 125 (2004), pp. 178 – 182.

27. International plastics selector. DATA Digest Plastics Vol.1, San Dieago, 1990.

28. อิทธิพล แจ้งชัด. พอลิเมอร์คอมโพสิต. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.

29. Stack plates & Materials (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.h2fc.com/reframe.php?top=/global/indust.shtml&bot=/industry/components/index.html [2006, January 5]

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ก – 1 ผงแกรไฟต์ เกรด RGN – C

ขนาดอนุภาค 0.432 ไมโครเมตร ร้อยละ	96.4

องค์ประกอบของผงแกรไฟต์ (ร้อยละ)

คาร์บอนคงที่	82.84
เถ้า	15.12
องค์ประกอบที่ระเหยได้	2.04
ความชื้น	0.30

แหล่งข้อมูล : บริษัทสุธียูไนเต็ด คาร์บอน จำกัด

องค์ประกอบของผงแกรไฟต์เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X – Ray Fluorescence (ร้อยละ)

คาร์บอน (C)	52.20
ซิลิกอน (Si)	4.19
อะลูมิเนียม (Al)	2.66
เหล็ก (Fe)	1.33
แคลเซียม (Ca)	1.14
อื่นๆ (Ti, Na, P, Mg, K, S, Mn, Rb, Sr, Zr)	38.48

ก – 2 สมบัติของเส้นใยคาร์บอน เกรด PAN AGM 94

ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละ)	94
ขนาดอนุภาค (ไมโครเมตร)	150
พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)	0.99
สภาพความต้านทานตามแนวแกน (โอห์ม.เซนติเมตร)	0.0014

แหล่งข้อมูล : Asbury graphite mill, Inc. www.asbury.com

ก – 3 สมบัติของซิงก์สเตียเรท (Purum)

การวิเคราะห์คุณภาพ (ร้อยละ)

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

แหล่งข้อมูล : Sigma – Aldrich

ก – 4 สมบัติของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Commercial grade)

สมบัติทางกายภาพ เป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟได้ง่าย (noncombustible) สามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเลตได้

น้ำหนักโมเลกุล	79.9
จุดเดือดที่ความดันบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)	2500 – 3000
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	1830 – 1850
ค่าความถ่วงจำเพาะ (ที่ 20 องศาเซลเซียส)	3.9
ค่าความเป็นกรด (pH) เมื่อเป็นของแข็งในสารละลาย	7.0 – 8.3

แหล่งข้อมูล : Occupational Safety & Health Administration, U.S. Department of Labor
http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/titaniumdioxide/recognition.html

ก – 5 สมบัติของพลาสติกเทอร์โมเซตที่ใช้ในงานวิจัย

ตาราง ก1 สมบัติของพลาสติกเทอร์โมเซตที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติของพลาสติก	ชนิดของพลาสติกเทอร์โมเซต		
	พอลิเอสเทอร์เรซิน	ฟีนอลิกโมดิฟายด์แอลคิดส์เรซิน	อีพอกซีเรซิน
ความหนาแน่น (g/cm^3)	1.03	1.05	1.2
ความหนืด (cp)	400 – 600	2000 – 5000	210 – 270
ความต้านแรงดึง (MPa)	60	55	70
ความแข็งแรงดัด (MPa)	55	40	120
ความแข็งร็อกเวล สเกลเอ็ม	95	86	95
ค่าการนำความร้อน (W/m – K)	0.5	0.5	0.2
อุณหภูมิในการเชื่อมโยง (^OC)	160	150	-

แหล่งข้อมูล : DATA Digest Plastics Vol.1, International plastics selector, 11^{th} ED. San Dieago, 1990

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณ

ข – 1 การคำนวณค่าการนำไฟฟ้าในแนวระนาบ

ข้อมูลการทดลอง ชิ้นงานแกรไฟต์คอมโพสิตที่ใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารช่วยยึดเกาะ มีปริมาณผงแกรไฟต์ร้อยละ 63 โดยน้ำหนัก

ระยะห่างของขั้วไฟฟ้า (L) = 8 cm กระแสที่ป้อนเข้าชิ้นงาน (I) = 0.012 A

ความกว้างชิ้นงาน = 2 cm ความหนาชิ้นงาน = 0.3 cm

ตาราง ข1 ค่าความต่างศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าตำแหน่งต่างๆ ของชิ้นงานที่ใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารยึดเกาะ ปริมาณผงแกรไฟต์ร้อยละ 63 โดยน้ำหนัก

	ค่าความต่างศักย์ (mV) ณ ขั้วไฟฟ้าตำแหน่งที่							
	ทิศทางกระแสไปข้างหน้า				ทิศทางกระแสย้อนกลับ			
	1	2	3	4	1	2	3	4
ด้านหน้าชิ้นงาน	49.1	49.4	49.6	49.4	48.9	49.5	49.5	49.4
ด้านหลังชิ้นงาน	49.0	48.9	48.9	49.0	48.9	49.0	49.0	49.1

ค่าความต่างศักย์เฉลี่ย (V_{ave}) = (49.1 + 49.4 + 49.6 + 49.4 + 48.9 + 49.5 + 49.5 + 49.4 + 49.0 + 48.9 + 48.9 + 49.0 + 48.9 + 49.0 + 49.0 + 49.1) / 16

= 49.16 mV = 0.0492 V

คำนวณค่าความต้านทานของชิ้นงานจากสมการที่ (3.2)

$$R = \frac{V}{I} \qquad (3.2)$$

แทนค่าลงในสมการ จะได้ R = 0.0492 / 0.012

= 4.096 Ω

คำนวณพื้นที่หน้าตัดด้านที่ถูกป้อนกระแสไฟฟ้าของชิ้นงาน (A) = ความกว้าง x ความหนา

= 2 x 0.3

= 0.6 cm^2

คำนวณสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของชิ้นงานจากสมการที่ (3.3)

$$\rho = R\frac{A}{L} \qquad (3.3)$$

แทนค่าลงในสมการ จะได้ ρ = (4.096 x 0.6) / 8

= 0.307 Ω cm

คำนวณค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงานจากสมการที่ (3.4)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (3.4)$$

แทนค่าลงในสมการ จะได้ σ = (1 / 0.307)

= 3.26 $S\ cm^{-1}$

ข – 2 การคำนวณค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน

ตาราง ข2 น้ำหนักแห้งและขนาดของชิ้นงานที่ใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารยึดเกาะ ปริมาณผงแกรไฟต์ร้อยละ 63 โดยน้ำหนัก

ชิ้นงาน	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	ความหนา (cm)	น้ำหนักแห้ง (Dry weight)
1	2.490	7.50	0.305	9.8563
2	2.488	7.45	0.312	9.7753
3	2.485	7.50	0.308	9.8273

คำนวณปริมาตรของชิ้นงานจากสูตร ปริมาตร = กว้าง x ยาว x หนา

จะได้ ปริมาตรของชิ้นงานที่ 1 = 2.49 x 7.5 x 0.305 = 5.696 cm^3

ปริมาตรของชิ้นงานที่ 2 = 2.488 x 7.45 x 0.312 = 5.783 cm^3

ปริมาตรของชิ้นงานที่ 3 = 2.485 x 7.5 x 0.308 = 5.740 cm^3

ปริมาตรเฉลี่ยของชิ้นงาน = (5.696 + 5.783 + 5.740) / 3

= 5.740 cm^3

คำนวณความหนาแน่นของชิ้นงานจากสมการที่ (3.1) ความหนาแน่น = มวล / ปริมาตร

จะได้ ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ 1 = 9.8563 / 5.696 = 1.730 g/cm^3

ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ 2 = 9.7753/ 5.783 = 1.690 g/cm^3

ความหนาแน่นของชิ้นงานที่ 3 = 9.8273 / 5.740 = 1.712 g/cm^3

ความหนาแน่นเฉลี่ยของชิ้นงาน = (1.73 + 1.69 + 1.712) / 3

= 1.711 g/cm^3

ข – 3 การคำนวณค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน

ตาราง ข3 น้ำหนักแห้งและน้ำหนักเปียกของชิ้นงานที่ใช้พอลิเอสเทอร์เป็นสารช่วยยึดเกาะ มีปริมาณผงแกรไฟต์ร้อยละ 63 โดยน้ำหนัก

ชิ้นงาน	น้ำหนักแห้ง (Dry weight)	น้ำหนักเปียก (Wet weight)	น้ำหนักเปียก - น้ำหนักแห้ง
1	9.8563	9.8967	0.0404
2	9.7753	9.8198	0.0445
3	9.8273	9.8698	0.0425

คำนวณร้อยละการดูดซึมน้ำของชิ้นงานจากสมการที่ (3.5)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักเปียก} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100$$

ร้อยละการดูดซึมน้ำชิ้นงานที่ 1 = 0.0404 / 9.8563 x 100 = 0.409

ร้อยละการดูดซึมน้ำชิ้นงานที่ 2 = 0.0445 / 9.7753 x 100 = 0.455

ร้อยละการดูดซึมน้ำชิ้นงานที่ 3 = 0.0425 / 9.8273 x 100 = 0.459

ร้อยละการดูดซึมน้ำชิ้นงานเฉลี่ย = (0.409 + 0.455 + 0.459) = 0.441

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเสาวลักษณ์ ผลาพิบูลย์ เกิดวันที่ 4 ธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย นนทบุรี จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีวิศวกรรม ภาควิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2547