รายการอ้างอิง

1. Arthur, H.L. (1995). Handbook of Plastic Foams. New Jersey : Noyes Publications.
2. Klempner, D. and Frisch, K.C. (Eds). (1991). Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology. New York : Hanser Publishers.
3. Walter, E.D. (1979). Plastic Chemistry and Technology. New York : Van Nostrand Reinhold.
4. Pentrakoon, D. and Ellis, J.W., An Introduction to Plastic Foams. Materials Science Department, Chulalongkorn University. (Unpublished Manuscript)
5. Woods, G. (1987). The ICI Polyurethanes Book. New York : ICI and John Wiley & Sons.
6. วัชรินทร์ แซ่หลาย. (2544). ผลของเส้นใยเซลลูโลสต่อสมบัติเชิงกลของโฟมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
7. Oertel, G. (Ed). (1985). Polyurethane Handbook. New York : Hanser Publishers.
8. อำนาจ สิทธัตตระกูล. (2533). อุตสาหกรรมปิโตรเคมี. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร : 174-177.
9. Wirpsza, Z. (1993). Polyurethanes : Chemistry, Technology and Applications. New York : Ellis Horwood PTR Prentice Hall.
10. Ferrigno, T.H. (1967). Rigid Plastics Foams. New York : Reinhold Publishing Corporation.
11. Warunee, W. (2000). Preparation of Polyurethane Foam from Waste Pet Bottles for Heavy Metal Ions Separation. Thesis for Master Degree, Materials Science, Chulalongkorn University : 18.
12. บรรเลง ศรนิล. (2544). เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 14, กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
13. สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2543). เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
14. ชาญวิทย์ พูนศรีไชยสิทธิ์. (2545). โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทนชนิดแข็งที่เตรียมจาก Rosin-based polyol. สัมมนาทางวิชาการระดับปริญญาโท ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 31-32.
15. Green, T.J. (1996). Rigid Closed Cell Polyisocyanate Based Foam for Use as Positive Flotation Materials in Watercraft. U.S. Patent 5,552,447.

16. Knorr, G., Rotermund, U., Baum, E., Seifert, H., and Wiegmann, W. (2000). Production of Rigid Polyurethanes Foams with Reduced Density. U.S. Patent 6,040,349.

17. Jung, H.C., Ryu, S.C., Kim, W.N., Lee, Y.B., Choe, K.H., and Kim, S.B. (2001). Properties of Rigid Polyurethane Foams Blown by HCFC 141B and Distilled Water, Journal of Applied Polymer Science 81 : 486-493.

18. Jin, J.F, Chen, Y.L., Wang, D.N., Hu, C.P., (2002). Structure and Physical Properties of Rigid Polyurethane Foam Prepared with Rosin-Based Polyol. Journal of Applied Polymer Science 84 : 598-604.

19. Roberta, A., Salvatore I., Luigin N., (1998). Synthesis and Characterization of starch-Based Polyurethane Foam. Journal of Applied Polymer Science 68 : 739-745.

20. Chian, K.S., Gan, L.H., (1998). Development of Rigid Polyurethane Foam from Palm Oil. Journal of Applied Polymer Science 68 : 509-515.

21. Zhang, Y., Heath, R.J., Hourston, D.J., (2000). Morphology, Mechanical Properties and Thermal Stability of Polyurethane-Epoxide Resin Interpenetrating Polymer Network Rigid Foam. Journal of Applied Polymer Science 75 : 406-416.

22. Seo, W.J., Jung, H.C., Hyun, J.C., (2003). Mechanical, Morphological, and Thermal Properties of Rigid Polyurethane Foams Blown by Distilled Water. Journal of Applied Polymer Science 90 : 12-21.

23. Chiba, T., Matsumoto, T., Ono, K., Shimizu, T., (2004). Method of preparing Rigid Polyurethane Foam, U.S. Patent 6,713,521.

24. http://www.brian-jones.co.uk/Brian Jones and Associates-Polyurethane Chemistry & Calculations.htm [2005, Feb 15]

25. http://www.huntsman.com [2004, May 21]

26. David, D.J. (1969). Analytical Chemistry of The Polyurethanes. New York : John Wiley & Sons.

27. วิชัย ริ้วตระกูล และคณะ. (2526). การประยุกต์สเปคโตรสโคปีในเคมีอินทรีย์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล : 121.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

28. ปรีดาทิพย์ คำขัด และรสวัลค์ ศรีจุไร. (2542). การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นเพื่อการดูดซับน้ำมัน. ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 14.

29. รุ่งกาญจน์ ศิลปสธรรม. (2544). การดัดแปลงทางเคมีของ PET บริสุทธิ์ และ PET รีไซเคิลโดยการเติม Chain Extender ในระหว่างกระบวนการผลิต. สัมมนาทางวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร : 29.

30. นิรันดร์ ไทยปรีชา. (2544). ผลของสารเร่งปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันต่อความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต/พอลิคาร์บอเนตโดยกระบวนการอัดรีดรีแอกทีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 14-16.

31. รัจนา ศิริสุข. (2544). Thermal Analysis for Polymer Characterization. เอกสารประกอบการเรียนการสอน ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 38.

32. Hatakeyama T. and Quinn F.X. (1999). Thermal Analysis : Fundamentals and Applications to Polymer Science. 2 nd ed., UK : John Wiley & Sons.

33. อุคมศักดิ์ พาลี. (2544). ผลของอัตราส่วนผสมต่อการดูดซึมน้ำ สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างไนลอน 6 และพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 36-37.

34. วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์. (2547). ปฏิบัติการทดสอบพอลิเมอร์. เอกสารประกอบการเรียนการสอน ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : 41.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ก-1 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Infrared Spectroscopy : IR) [29]

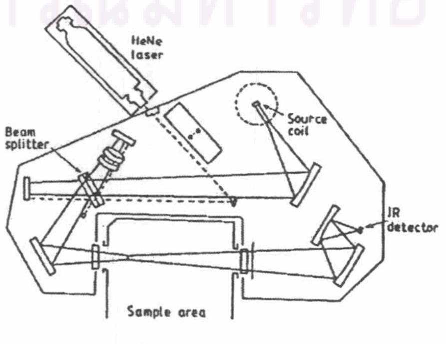
รังสีอินฟราเรดเป็นรังสีที่แลเห็นไม่ได้ มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 2.5-15 μm (4,000-667 cm^{-1}) อินฟราเรดสเปกโทรสโคปีเป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์และศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสาร เทคนิคนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการสั่นของพันธะในโมเลกุล โดยพันธะที่มีการสั่นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์คู่ควบจะสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่นของพันธะใดก็จะดูดกลืนรังสีนั้นในรูปของพลังงาน

แบนด์ในการดูดกลืนรังสีที่ปรากฏในสเปกตรัมมีทั้งแบนด์พื้นฐาน แบนด์เฉพาะของแต่ละหมู่ฟังก์ชัน และแบนด์อื่น ๆ เช่น โอเวอร์โทน ซึ่งจะปรากฏ ณ ตำแหน่งที่มีเลขคลื่นเป็นเท่าของแบนด์พื้นฐานและความเข้มต่ำ

การทำงานของเครื่องฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR)

เครื่อง FT-IR ใช้หลักการกระจายแสงหรือกำลังของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน อย่างต่อเนื่อง เรียกว่า time–domain spectroscopy จากนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นค่าความเข้มของแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่นที่เรียกว่า frequency–domain spectroscopy เนื่องจากสามารถวัดการดูดกลืนแสงที่มีความถี่ต่าง ๆ กัน พร้อมกันหมด FT-IR จึงช่วยให้การวิเคราะห์รวดเร็วขึ้น และมีการแยก (resolution) ที่ดีขึ้น

ข้อดีของเครื่อง FT-IR คือช่วยให้การวิเคราะห์หรือการวัดสเปกตรัมเร็วกว่าเครื่อง IR ธรรมดาหลายเท่า รวมทั้งยังให้ความถูกต้องที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังช่วยทำให้การวิเคราะห์ง่ายขึ้นและสะดวกขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม แต่มีข้อเสีย คือจะมีราคาแพงและต้องการการดูแลรักษาที่ดี



รูปที่ ก-1 ส่วนประกอบของเครื่องอินฟราเรดสเปกดทรสโคปี [30]

ก-2 เทคนิคเทอร์โมกราวิเมทรี (Thermogravimetric Analysis : TGA) [14, 29, 31]

Thermogravimetric Analysis (TGA) เป็นเทคนิคที่ใช้วัดการสูญเสียน้ำหนักของสารตัวอย่างที่บันทึกอย่างต่อเนื่องในภาวะกาซเฉื่อย (inert gas) และต้องทราบน้ำหนักเริ่มต้นของสารตัวอย่างที่แน่นอน

TGA แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. Isothermal คือการวัดน้ำหนักที่ขาดหายไปอย่างต่อเนื่องให้เป็นฟังก์ชันกับเวลาโดยอุณหภูมิคงที่

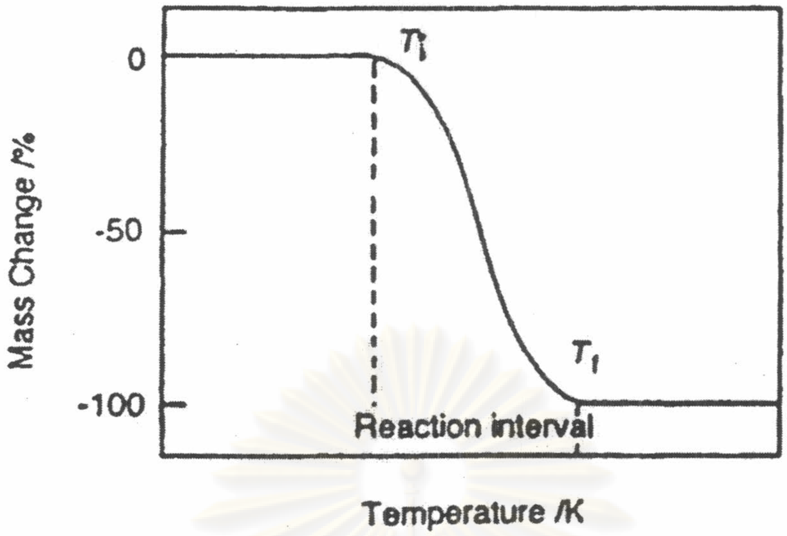
2. Non–Isothermal คือการวัดน้ำหนักที่ขาดไปอย่างต่อเนื่องให้เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ซึ่งเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่

TGA สามารถนำมาศึกษาสมบัติของสารพอลิเมอร์ในเรื่อง Thermal decomposition, auto–oxidation และ stability น้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างนั้น อาจเกิดจากพอลิเมอร์เกิดการสูญเสียน้ำ (hydration) หรือเกิดการสลายตัว (decomposition) และเมื่อเพิ่มอัตราในการให้ความร้อนของ TGA จะเป็นการเพิ่มอุณหภูมิการสลายตัว (decomposition temperature)

TGA มีความว่องไวต่อสมดุลของสารตัวอย่าง เมื่อให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ น้ำหนักของสารตัวอย่างเริ่มหายไป เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นจึงเกิดการสลายตัวของสารตัวอย่าง ทำให้สมดุลของตัวอย่างเปลี่ยนไป และการเปลี่ยนแปลงนี้จะแสดงผลออกมาทางคอมพิวเตอร์ได้เป็นเทอร์โมแกรม (thermogram) ออกมา

เทอร์โมแกรมที่ได้จากการทดลองหรือผลการวิเคราะห์ มักแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงมวล (mass change : Δm) ในหน่วยของเปอร์เซนต์ กับ อุณหภูมิ (temperature : T) หรือเวลา (time : t) ดังตัวอย่างในรูปที่ ก-2 ใน scanning mode โดยอุณหภูมิที่ T_i หรือที่เรียกว่า procedural decomposition temperature จะแสดงอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็น onset ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลที่สามารถวัดได้ และ T_f หรือ final temperatureเป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของมวลได้อย่างสมบูรณ์ reaction interval ที่ได้จะไม่ใช่ค่าจำเพาะตัวของวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาวะที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนมากเทอร์โมแกรมจะระบุอุณหภูมิได้ยาก เนื่องจาก curve แสดงเป็นช่วงใกล้ ๆ กัน ดังนั้นจึงนิยมใช้การหาความแตกต่างของ curve ของอัตราการเปลี่ยนน้ำหนักกับอุณหภูมิเป็นหลักอ้างอิง (derivative) ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟที่คำนวณได้ คือน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนไปตามเวลา



รูปที่ ก-2 Single-stage TGA curve [32]

เครื่อง TGA ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก ๆ ดังนี้คือ

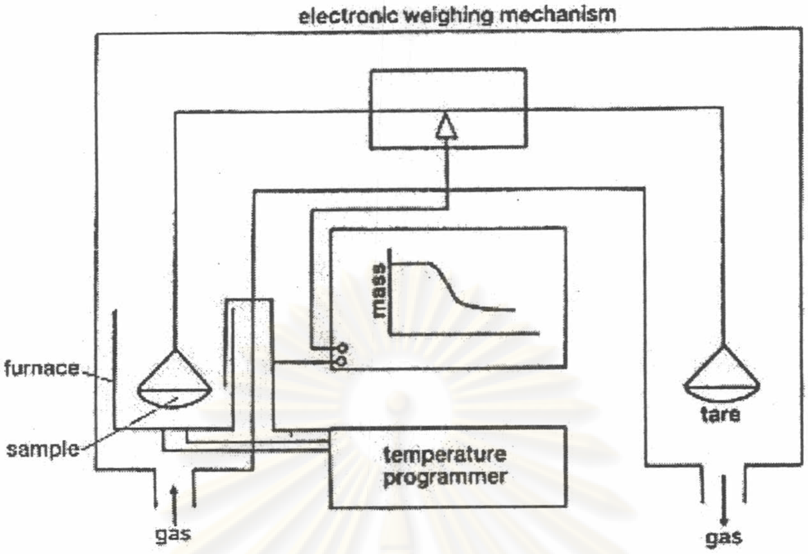
- sensitive analytical balance
- furnance
- gas selecter
- microcomputer/microprocessor

ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด คือ Sensitive analytical balance/microbalance จะต้องมีความเที่ยงตรง และว่องไวต่อการเปลี่ยนแปลงมวลของตัวอย่างและไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

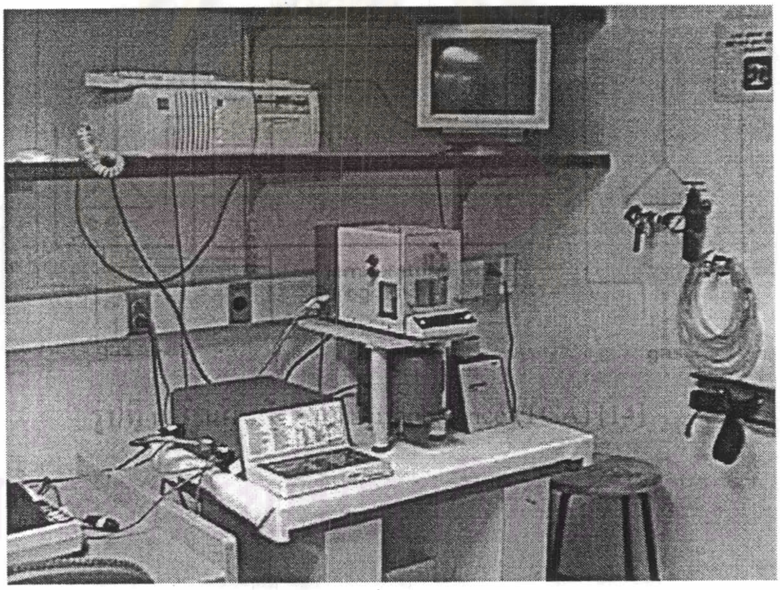
ปัจจัยที่มีผลต่อ TGA curve [14]

- Heating Rate
- Chart speed
- บรรยากาศ Furnace
- ลักษณะและองค์ประกอบของภาชนะใส่สารตัวอย่าง
- ลักษณะของ Furnace
- ความไวของกลไกการบันทึกข้อมูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-3 แผนผังของ thermobalance (TGA) [14]



รูปที่ ก-4 ตัวอย่างเครื่อง TGA

ก-3 การหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยเทคนิคเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี [30]

(Gel Permeation Chromatography : GPC)

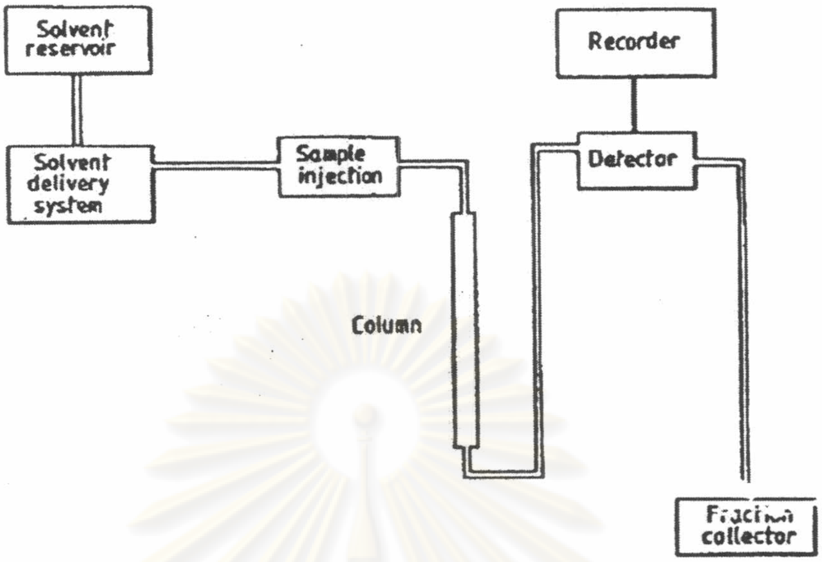
GPC เป็นวิธีการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ดีวิธีหนึ่ง ซึ่ง GPC นี้เป็นรูปแบบหนึ่งของเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลว (liquid chromatography) โดยโมเลกุลจะถูกแยกตามขนาดของโมเลกุลโดยจะทำการฉีดสารละลายเจือจางของพอลิเมอร์ไปยังตัวทำละลายที่ไหลอย่างต่อเนื่องในคอลัมน์ ที่ประกอบด้วยอนุภาคของเจลที่มีรูพรุนเล็ก ๆ เจลจะมีขนาดอนุภาคในช่วง 5-10 ไมครอน เพื่อการจัดเรียงที่มีประสิทธิภาพและโดยทั่วไป แต่ละอนุภาคจะมีขนาดรูพรุน 0.5–105 นาโนเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมในการใช้กับโมเลกุลของพอลิเมอร์

การแยกโมเลกุลเกิดจากการผ่านโมเลกุลที่มีขนาดต่าง ๆ กันเข้าไปในรูพรุนของคอลัมน์ โมเลกุลที่มีขนาดเล็กนั้นสามารถเข้าไปในรูพรุนได้ง่ายกว่าโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นโมเลกุลขนาดเล็กจะมีอัตราการผ่านคอลัมน์ที่ช้ากว่า การไหลที่ต่อเนื่องของสารละลายทำให้เกิดการแยกของโมเลกุลตามขนาดของมัน โดยโมเลกุลขนาดใหญ่จะออกมาก่อน ตามมาด้วยโมเลกุลขนาดเล็กเนื่องจากโมเลกุลขนาดเล็กจะเข้าไปอยู่ในรูพรุนจึงต้องใช้เวลานานกว่า

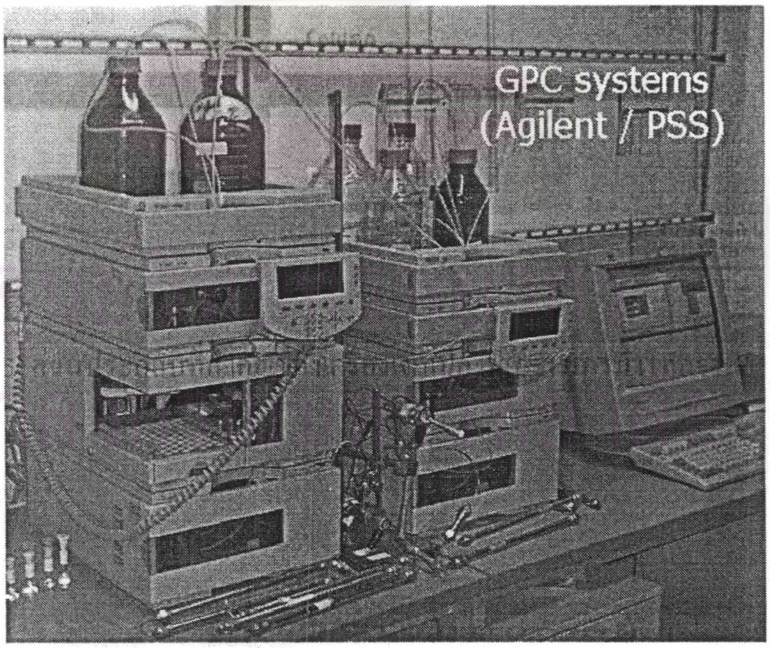
ถ้าขนาดรูพรุนเล็กเกินกว่าจะทำให้โมเลกุลผ่านไปได้ หรือรูพรุนมีขนาดใหญ่จนทุกโมเลกุลผ่านไปได้ด้วยอัตราเท่ากัน จะทำให้ไม่สามารถแยกขนาดโมเลกุลได้ ดังนั้นการเลือกวัสดุที่ใช้ในคอลัมน์เพื่อให้มีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมนั้นมีความสำคัญ ดังนั้นการใช้คอลัมน์ที่มีขนาดต่างๆ ร่วมกันจึงถูกนำมาใช้กับพอลิเมอร์ซึ่งมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง GPC มีดังนี้ (รูปที่ ก-5)

1. ระบบส่งตัวทำละลายที่มีความสามารถในการส่งตัวทำละลายด้วยอัตราคงที่
2. คอลัมน์ ประกอบด้วยอนุภาคของเจลที่มีรูพรุน เพื่อใช้ในการแยกขนาดของโมเลกุล
3. ระบบอัดฉีด มีความสามารถในการส่งสารตัวอย่างปริมาณน้อยอย่างแม่นยำ โดยไม่รบกวนการไหลของตัวทำละลาย
4. ระบบตรวจสอบสารที่ออกมาจากคอลัมน์นี้ เพื่อทราบปริมาณของสารตัวอย่างที่ไหลออกมาอย่างต่อเนื่อง
5. ส่วนบันทึกผล



รูปที่ ก-5 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี [30]



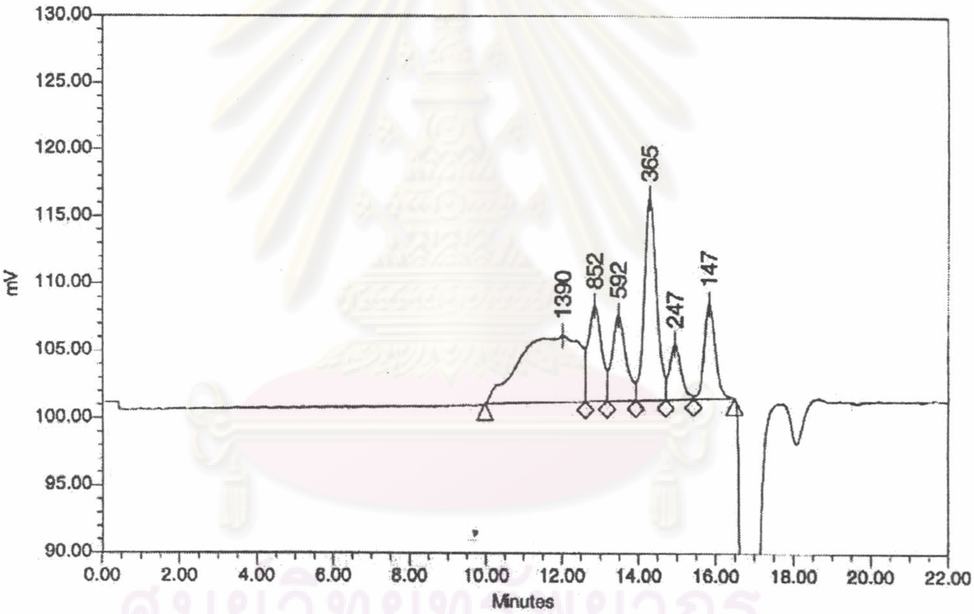
รูปที่ ก-6 ตัวอย่างเครื่อง GPC

ผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของโทลูอีนไดไอโซไซยาเนตที่นำเข้าจากต่างประเทศด้วยเทคนิคเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี แสดงดังนี้

Sample Information

SampleName	TDI prepolymer	Sample Type	Broad Unknown
Vial	5	Date Acquired	2/18/04 1:41:12 PM
Injection	1	Acq Method Set	Meth100A_THF_T30C_1
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Proc100A_THF_T30C_1
Channel	SATIN	Date Processed	2/18/04 4:00:49 PM
Run Time	22.0 Minutes		

Auto-Scaled Chromatogram



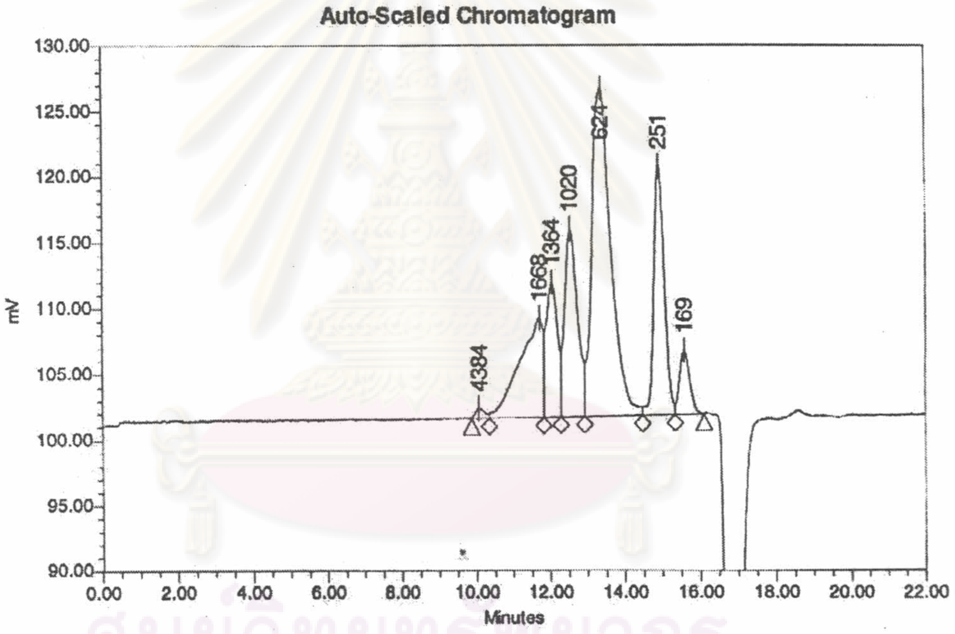
Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Peak4	1692	1938	1390	2234	2550	1.145123
2	Peak6	840	846	852	852	858	1.007220
3	Peak7	575	581	592	587	593	1.010695
4	Peak8	357	360	365	363	366	1.008261
5	Peak9	242	244	247	246	248	1.007424
6	Peak10	144	145	147	146	147	1.007280

ผลการหาน้ำหนักโมเลกุลของสารประกอบพอลิออลที่นำเข้าจากต่างประเทศด้วยเทคนิคเจลเปอร์มีเอชันโครมาโทกราฟี แสดงดังนี้

Sample Information

SampleName	Polyols	Sample Type	Broad Unknown
Vial	6	Date Acquired	2/18/04 2:06:56 PM
Injection	1	Acq Method Set	Meth100A_THF_T30C_1
Injection Volume	100.00 ul	Processing Method	Proc100A_THF_T30C_1
Channel	SATIN	Date Processed	2/18/04 4:02:18 PM
Run Time	22.0 Minutes		



Peak Results

	Name	Mn	Mw	MP	Mz	Mz+1	Polydispersity
1	Peak2	4259	4277	4384	4296	4314	1.004348
2	Peak3	2007	2086	1668	2179	2284	1.039475
3	Peak6	1359	1366	1364	1374	1381	1.005235
4	Peak5	992	1000	1020	1008	1016	1.008235
5	Peak7	594	609	624	622	634	1.024331
6	Peak9	247	249	251	250	252	1.006572
7	Peak10	166	167	169	168	169	1.005779

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก-4 การหาค่าไอโซไซยาเนตคอนเทนต์ (NCO content หรือ % NCO by wt.) ตามมาตรฐาน ASTM D 2572

เป็นการหาค่าร้อยละโดยน้ำหนักของหมู่ไอโซไซยาเนตที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาของสารตัวอย่างไอโซไซยาเนต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุ และอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ฝาปิด (stopper)
3. เครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
4. ปิเปต (pipet) ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. บิวเรต (buret) ขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร
6. เครื่องชั่ง

สารเคมี

1. โบรโมฟีนอลบลูอินดิเคเตอร์ (Bromphenol Blue Indicator) 0.1 %
   (เตรียมโดยชั่งโบรโมฟีนอลบลู มา 0.10 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร)
2. ดรายโทลูอีน (dry toluene)
3. สารละลายไดบิวทิวลามีน (di-*n*-butubylamine) 0.1 N ในดรายโทลูอีน
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) 0.1 N
5. ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol)

วิธีทดสอบ

1. ชั่งสารตัวอย่าง (โทลูอีนไดไอโซไซยาเนต) มา 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. เติมดรายโทลูอีน 25 มิลลิลิตร ลงไป จากนั้นปิดฝาขวดด้วยจุกปิดแล้วเขย่าด้วยมือ หรือกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก (magnetic stirrer) เพื่อละลายสารตัวอย่าง (ถ้าไม่ละลายสามารถนำไปอุ่นบน hot plate ได้)
3. ปิเปตสารละลายไดบิวทิวลามีน 0.1 N มา 25 มิลลิลิตร แล้วเติมลงไปและปิดฝา จากนั้นกวนต่ออีก 15 นาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เติมไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ลงไป 100 มิลลิลิตร
5. หยดสารละลายโบรโมฟีนอลบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 4-6 หยด
6. ทำการไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 N จนสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจึงถึงจุดยุติ
7. ทำแบลงค์ไตเตรชั่น (blank titration) โดยใช้สารเคมีทั้งหมดยกเว้นสารตัวอย่าง แล้วทำตามขั้นตอนที่ 1-6

การคำนวณ

NCO content :-

$$NCO,\% \; = \; \frac{[(B-V)\times N\times 0.0420]}{W} \times 100$$

เมื่อ	B	คือปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตแบลงค์ (มิลลิลิตร)
	V	คือปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรตสารตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
	N	คือนอร์มาลิตี้ (normarity) ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก
	0.0420	คือ milliequivalent weight ของหมู่ไอโซไซยาเนต (NCO group)
	W	คือน้ำหนักของสารตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก-5 การหาค่าไฮดรอกซิลหรือไฮดรอกซิลนัมเบอร์
(Hydroxyl value : OHV หรือ Hydroxyl number)
ตามมาตรฐาน ISO 14900

ค่าไฮดรอกซิลหรือไฮดรอกซิลนัมเบอร์ หมายถึงน้ำหนักของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในหน่วยมิลลิกรัมที่ทำให้หมู่อะเซทิล (acetyl group) โดยกระบวนการอะเซทิลเลชัน (acetylation) ของพอลิออล 1 กรัม

วัสดุ และอุปกรณ์

1. ขวดก้นกลม (conical flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. คอนเดนเซอร์ (condenser)
3. จุกเชื่อม (taper joint)
4. ปิเปต (pipet) ขนาด 25 มิลลิลิตร
5. บิวเรต (buret) ขนาด 50 หรือ 100 มิลลิลิตร
6. เครื่องชั่ง
7. อ่างน้ำมัน (oil bath)

สารเคมี

1. พทาลิกแอนไฮไดรด์ (phthalic anhydride)
2. ไพริดีน (pyridine)
3. อิมิดาโซล (imidazole)
4. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.1 โมล/ลิตร
5. สารละลายฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์ (phenolpthalene indicator) 10 กรัม/ลิตร (เตรียมโดยชั่งฟีนอฟทาลีนมา 1 กรัม ละลายในไพริดีน 100 มิลลิลิตร)
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.5 โมล/ลิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีทดสอบ

1. อบสารตัวอย่าง (พอลิออล) และอุปกรณ์ทุกชนิดที่อุณหภูมิประมาณ 150-200 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น
2. เตรียม Phthalation reagent ดังนี้
   2.1 ชั่งพทาลิกแอนไฮไดรด์มา 116 กรัม ใส่ลงในขวดสีชา
   2.2 เติมไพริดีนลงไป 700 มิลลิลิตร และเขย่าจนพทาลิกแอนไฮไดรด์ละลายหมด
   2.3 เติมอิมิดาโซล 16 กรัม และเขย่าจนละลายหมด
   2.4 เก็บ reagent ที่ได้ค้างคืนไว้โดยมิให้สัมผัสกับอากาศ
3. ชั่งสารตัวอย่างใส่ลงในขวดก้นกลม โดยปริมาณสารตัวอย่างที่ใช้พิจารณาจาก

$$Test\ \ portion\ \ size\ , g. \ = \frac{561}{Expected\ \ hydroxyl\ \ number}$$

4. ปิเปต phthalation reagent มา 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดตัวอย่าง แล้วเขย่าจนสารตัวอย่างละลายหมด จากนั้นจึงต่อเข้ากับคอนเดนเซอร์ และนำแช่ลงในอ่างน้ำมันที่คงอุณหภูมิไว้ที่ 115 $\pm$ 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
5. จากนั้นนำอุปกรณ์ทั้งหมด (ข้อ 4) ออกจากอ่างน้ำมัน แล้วทิ้งไว้ให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง
6. ล้างคอนเดนเซอร์ด้วยไพริดีน 30 มิลลิลิตร แล้วถอดคอนเดนเซอร์ออก
7. เมื่อสารละลายตัวอย่างเย็นตัวแล้ว นำมาเทลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วกลั้ว (rinse) ด้วยไพริดีน 20 มิลลิลิตร
8. เติมสารละลายฟีนอฟทาลีน อินดิเคเตอร์ 0.5 มิลลิลิตร แล้วเขย่า
9. ไตเตรตสารละลายตัวอย่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรกไซด์ 0.5 โมล/ลิตร จนสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อนนานอย่างน้อย 15 วินาที
10. ทำซ้ำข้อ 4-9 ซึ่งเป็นการทำแบลงค์ไตเตรชั่น

หมายเหตุ

ถ้าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายตัวอย่างน้อยกว่า 80 % ของการทำแบลงค์ (blank) แสดงว่าใช้สารตัวอย่างในการทดสอบในปริมาณที่มากเกินไป ให้ทำซ้ำ (repeat) โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างให้น้อยลง

การคำนวณ

Hydroxyl number (mgKOH/g) :-

$$Hydroxyl\,number = \frac{(V_4 - V_3)\,c \times 56.1}{m}$$

เมื่อ V_4 คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายแบลงค์ (blank) (มิลลิลิตร)

V_3 คือปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรตสารละลายตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

c คือความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โมล/ลิตร)

m มวลของสารตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก-6 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด [14] (Scanning Electron Microscope : SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) อักษรย่อ คือ SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ช่วยให้มองเห็นวัตถุที่มีขนาดเล็ก ขยายให้เห็นลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของตัวอย่างให้เห็นภาพในลักษณะ 3 มิติ สามารถใช้ศึกษาตัวอย่างที่มีขนาดตั้งแต่ 100 nm.-1 cm.

ปัจจุบันพบว่าประโยชน์ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนมิใช่เพียงแต่จะใช้ในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ (medical science) และทางชีวภาพ (biology) เท่านั้น ยังแผ่ขยายไปถึงการศึกษาทางด้านวัสดุและทางโลหะการ (material science) เช่น การปรับปรุงวัสดุ (material development) เซรามิก (ceramics) และวัสดุกึ่งตัวนำ (semiconductors) ซึ่งสามารถใช้ในงานวิเคราะห์รายละเอียดที่มีความแม่นยำสูงมาก

<u>หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอนแบบส่องกราด</u> **(SEM)**

ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดการมองเห็นภาพของกล้อง SEM และกลไกการทำงาน

1. แหล่งกำเนิดแสงของกล้อง SEM คือ ลำอิเล็คตรอนจาก electron gun คล้ายกับที่ใช้ในหลอดภาพโทรทัศน์แล้วใช้สนามไฟฟ้ากำลังสูงเร่งพาอิเล็คตรอน ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นลำแสงโดยอาศัยขดลวดแม่เหล็กที่เรียกว่าเลนส์แม่เหล็ก (magnetic lens) หรือเรียกว่า เลนส์อิเล็คตรอน (electron lens) โดยลำแสงอิเล็คตรอนต้องผ่านในสุญญากาศ เพราะโมเลกุลของอากาศจะรบกวนลำแสงได้
2. เมื่อลำอิเล็คตรอนมีพลังงานสูง จะมีพฤติกรรมคล้ายคลื่นแสง สามารถบังคับให้คลื่นอิเล็คตรอนมีความยาวคลื่นที่สั้นมากได้
3. เลนส์รวมแสง (condenser lens) เป็นเลนส์ระบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ถูกควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการบีบลำแสงอิเล็คตรอนให้เป็นรูปกรวย (electron probe) เลนส์รวมแสงจะทำงานร่วมกับเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) และ objective lens aperture จะเป็นตัวช่วยในการปรับลำอิเล็คตรอนให้อยู่ตรงกลาง (center) ทั้งหมดเพื่อช่วยบีบลำอิเล็คตรอนที่มีขนาดเล็กสุด และมี center ของลำอิเล็คตรอนเพื่อที่จะได้สัญญาณอิเล็คตรอนที่มีขนาดเล็กเท่าที่ต้องการเพื่อจะฉายกราดลงบนตัวอย่าง ซึ่งจะควบคุมให้อยู่ในช่วงลำแสงที่ต้องการ การปรับขนาดของปลายกรวยควบคุมโดยเลนส์รวมแสง โดยปรับเลนส์รวมแสงกับปุ่มของ spot size ถ้าหมายเลขของ spot size สูงหมายถึงขนาดการบีบลำแสงอิเล็คตรอนมาก คือ ลำแสงจะถูกบีบให้เล็ก (ขนาดของลำอิเล็คตรอนที่กราดลงบนตัวอย่างจะเล็ก) มากกว่าการปรับหมายเลขของ spot size ที่ต่ำ (ขนาดของอิเล็คตรอนของตัวอย่างจะกว้าง)

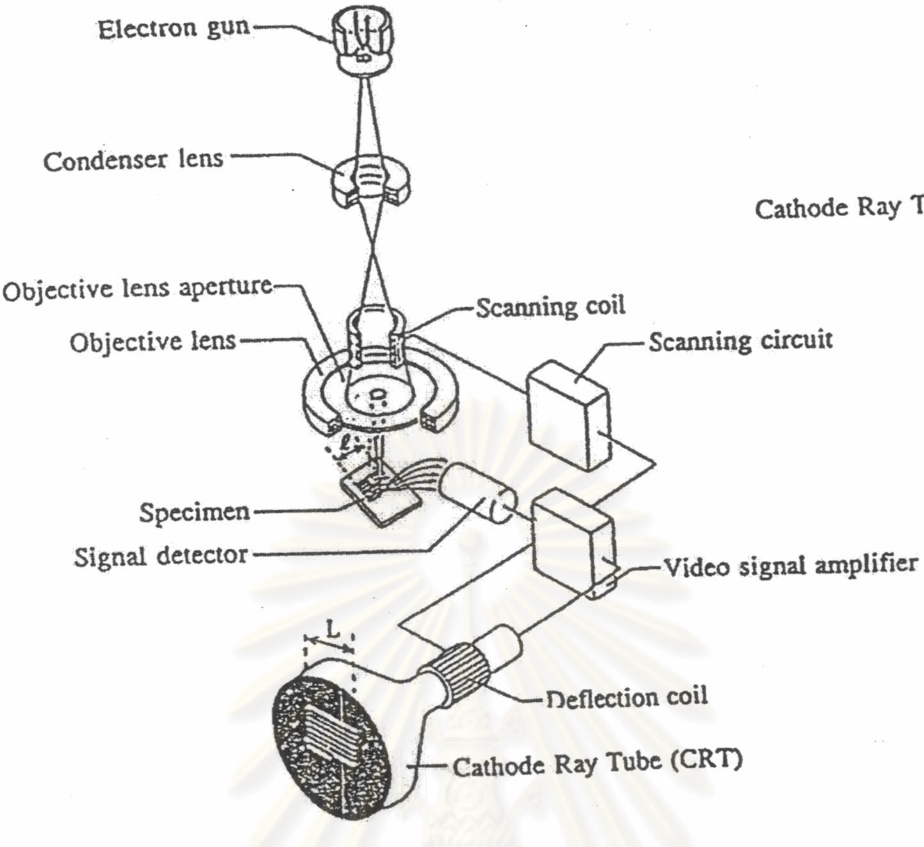
4. จากนั้นลำอิเล็คตรอนหรือจะเรียกว่าอิเล็คตรอนปฐมภูมิ (primary electron) ที่ปรับได้ตามต้องการจะถูกบังคับให้กราดตรวจไปบนผิวของตัวอย่างในแนวแกนนอน (แกน X) และแกนแนวตั้ง (แกน Y) เป็นพับสี่เหลี่ยมผืนผ้าคล้ายระบบสแกนของโทรทัศน์โดยการควบคุมด้วยชุดควบคุมการสแกนโดยเป็นระบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
5. เมื่ออิเล็คตรอนปฐมภูมิตกกระทบชิ้นตัวอย่างจะเกิดปฏิกิริยากับองค์ประกอบของวัตถุกระทบในระดับและความลึกต่างกัน จะทำให้เกิดสัญญาณอิเล็คตรอนที่ออกมาต่างกัน ซึ่งเราสามารถรับสัญญาณอิเล็คตรอนที่ต่างกันได้ตามชนิดของตัวรับสัญญาณที่มีอยู่ในกล้อง
6. จากนั้นสัญญาณอิเล็คตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนสัญญาณภาพตามอุปกรณ์วัดสัญญาณเฉพาะ (single detector = selector scientillator) เช่น อุปกรณ์วัดสัญญาณเฉพาะของอิเล็คตรอนทุติยภูมิ อิเล็คตรอนกระเจิงกลับและเอกซ์เรย์ จากนั้นสัญญาณอิเล็คตรอนจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า และถูกส่งไปยังเครื่องขยายแสง (photomultiplier tube) สัญญาณจะถูกส่งไปยังหลอดภาพ ปรากฏเป็นภาพบนจอรับภาพ (cathode ray tube = CRT) ระบบการแสดงของภาพบนจอ CRT สามารถเลือกสแกนภาพได้ดังนี้

การแสดงภาพระบบโทรทัศน์ (TV mode) แสดงภาพด้วยการสแกนภาพเร็วและสูงเกิดภาพเต็มพื้นที่ เป็นการสแกนแบบหยาบเพื่อเลือกพื้นที่ที่จะทำการศึกษา เพื่อมองโครงสร้างแบบหยาบก่อน

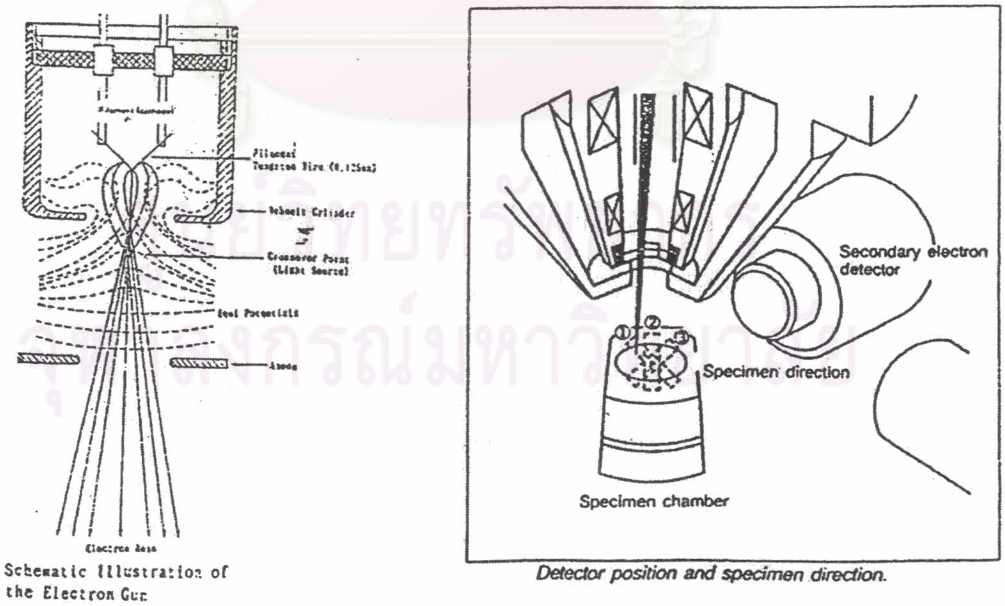
การแสดงภาพแบบเร็ว (rapid scan) เป็นการ scan แบบเร็วแต่ภาพมีความละเอียดกว่าการแสดงภาพแบบระบบโทรทัศน์ ใช้ในการปรับความสว่าง (brightness) ปรับความเข้ม (contrast) แสดงภาพเฉพาะพื้นที่

การแสดงภาพแบบช้า (slow speed scan) เป็นการ scan ภาพสุดท้ายก่อนการบันทึกภาพจะได้ภาพที่มีความละเอียดมากขึ้น การขยายภาพ (magnetization) ของกล้อง SEM มิได้เกิดจากเลนส์ใกล้วัตถุ แต่ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างขนาดของความกว้างของเส้นสแกนบนจอรับภาพ (L) กับความกว้างของเส้นสแกนบนพื้นผิวตัวอย่าง (I) โดยจะบันทึกได้หลายวิธี เช่น บนพิมพ์ขาว-ดำ (SEM film) Polaroid film แผ่น diskette หรือพิมพ์ออกมาเป็นภาพจาก printer

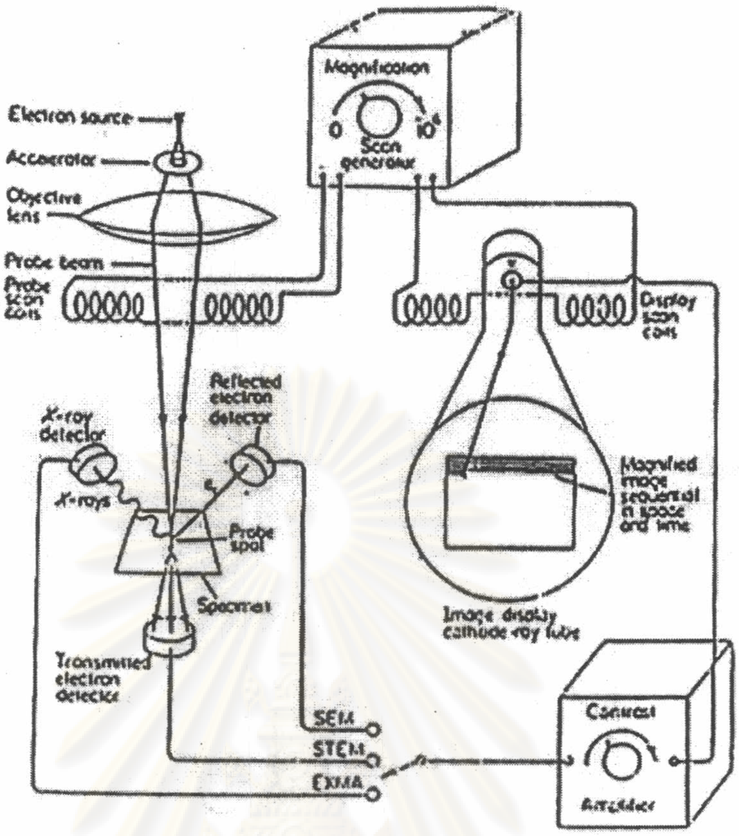
Cathode Ray Tube (CRT)/



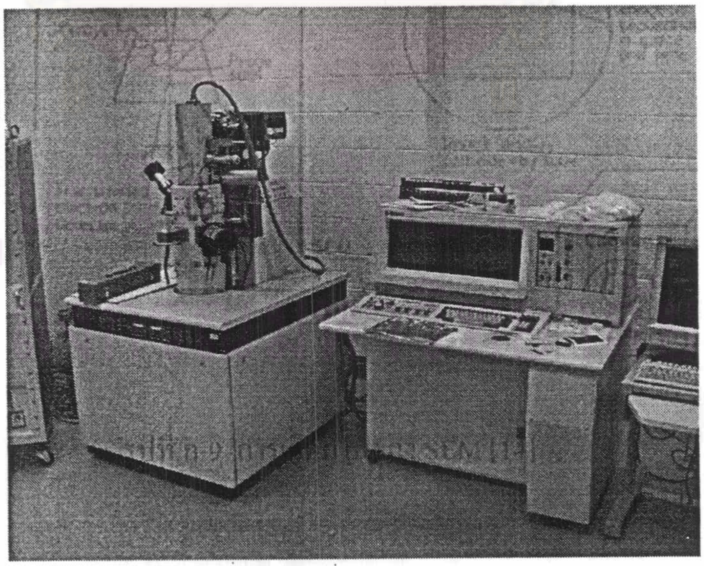
รูปที่ ก-7 การคำนวณกำลังการขยายของ SEM [14]



รูปที่ ก-8 โครงสร้างภายในของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [14]



รูปที่ ก-9 การเกิดภาพของ SEM [14]

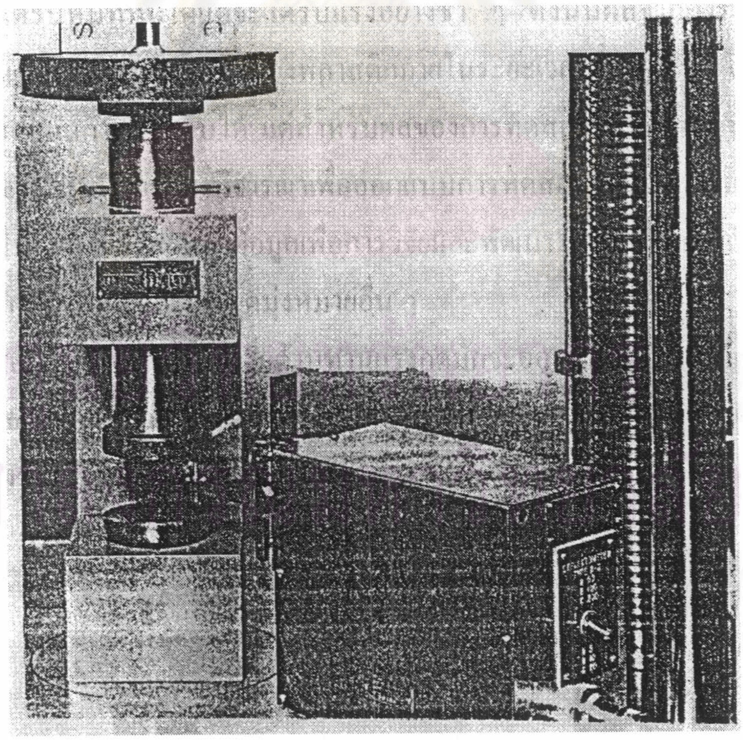


รูปที่ ก-10 ตัวอย่างเครื่อง SEM

ก-7 การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกด (Compression Testing) [14]

สมบัติความต้านทานแรงกด (compressive properties) เป็นสมบัติที่อธิบายถึงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อรับแรงในการ กดอัด และเป็นการให้แรงอย่างช้า ๆ ซึ่งในการนำพลาสติกไปประยุกต์ใช้งานส่วนมากแล้วมักจะเป็นงานที่จะต้องมีการรับแรงในการกดอัดโดยแรงที่พลาสติกได้รับจากแรงกดอัดจะไม่ได้รับทันทีทันใดแต่จะได้รับแรงอย่างช้า ๆ ดังนั้นผลจากการทดสอบที่ทำการทดสอบถึงความแข็งและความแข็งแรงของพลาสติกภายในระยะเวลาที่ทดสอบ ไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบการทดสอบได้ แต่สำหรับผลของการทดสอบการรับแรงกระแทก ความล้าและการคืบ (creep) สามารถนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบการทดสอบได้ แต่การทดสอบความต้านทานแรงกดนั้นเป็นวิธีที่ใช้สำหรับหาข้อมูลเพื่อการวิจัยและพัฒนา ควบคุมคุณภาพ และตัดสินใจเลือกเมื่อผลผิดจากที่กำหนด และเพื่อจุดมุ่งหมายอื่น ๆ

การทดสอบสมบัติทางด้านความต้านทานแรงกดมักจะออกแบบเพื่อให้ได้ค่า compressive strength และ compressive modulus กันเป็นส่วนมาก ลักษณะของเครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกด แสดงดังรูปที่ ก-11



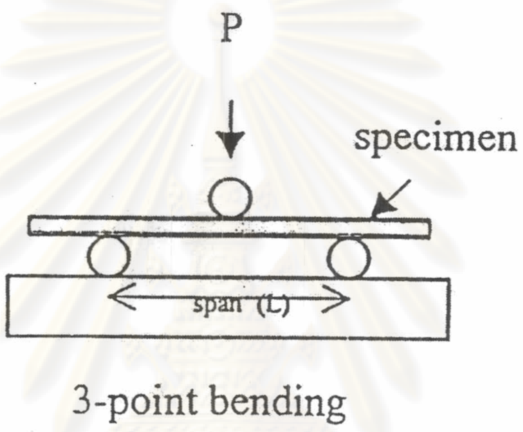
รูปที่ ก-11 ลักษณะของเครื่องทดสอบสมบัติความต้านทานแรงกด [14]

ในกรณีของพอลิเมอร์ที่มีการเสียรูปเมื่อได้รับแรงในการกดอัดโดยเกิดการแตกหักจะทำให้ได้ค่า compressive strength ที่มีค่าจำกัด แต่สำหรับพอลิเมอร์หรือโฟมที่ไม่เกิดการแตกหักเมื่อได้รับแรงกดอัด จะทำให้ได้ค่า compressive strength ที่ขึ้นอยู่กับองศาของการเปลี่ยนรูป ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนรูปหรือเสียหายที่สมบูรณ์ของวัสดุ วัสดุบางชนิดจะถูกรายงานค่า compressive stress ที่ 1 % หรือ 10 % deformation ของความสูงเริ่มต้นของตัวอย่าง พอลิเมอร์บางชนิดจะเริ่มเปลี่ยนรูปตั้งแต่เริ่มได้รับแรงกดอัดจนกระทั่งชิ้นงานมีลักษณะเป็นแผ่นดิสก์บาง ๆ

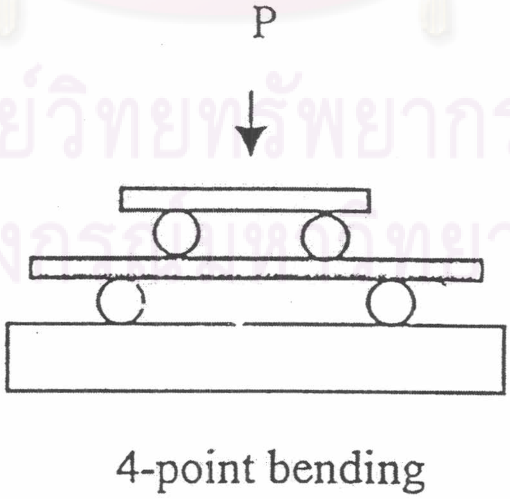
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก-8 การทดสอบสมบัติความทนแรงดัดโค้ง (Bending or Flexural Testing) [33]

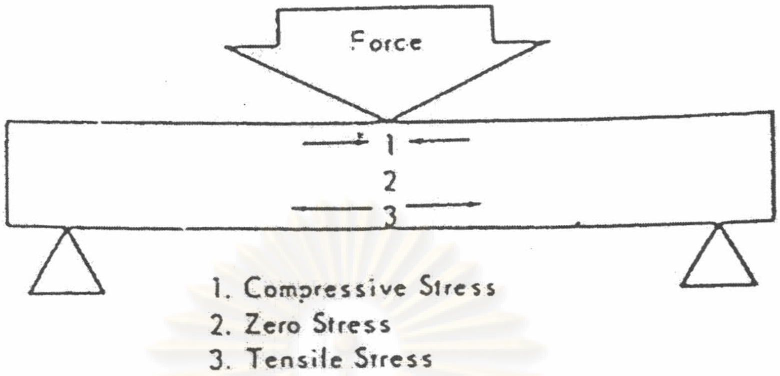
สมบัติความทนแรงดัดโค้ง (Bending or Flexural Properties) เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความทนต่อแรงกดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการดัดโค้ง โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือการทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด (three point bending) ดังรูปที่ ก-12 และการทดสอบความทนแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด (four point bending) ดังรูปที่ ก-13 ในการดัดโค้งชิ้นทดสอบนั้นชิ้นทดสอบจะได้รับทั้งแรงเค้นดึง (tensile stress) และแรงเค้นกด (compressive stress) ดังรูปที่ ก-14



รูปที่ ก-12 การทดสอบความทนต่อแรงดัดโค้งแบบ 3 จุด [33]



รูปที่ ก-13 การทดสอบความทนต่อแรงดัดโค้งแบบ 4 จุด [33]



รูปที่ ก-14 แรงเค้นในชิ้นทดสอบขณะทดสอบความทนต่อแรงดัดโค้ง [33]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก-9 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) [34]

ความแข็ง (hardness) คือความต้านทานต่อการกดเป็นรอย (resilience to indentation) การวัดความแข็งเป็นการวัดสมบัติที่พื้นที่ผิวของวัสดุ ทั้งนี้วัสดุแต่ละชนิดจะมีความแข็งเป็นเช่นไรก็ขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของวัสดุนั้น

<u>การทดสอบความแข็งของพอลิเมอร์</u>

วิธีการทดสอบจะกระทำโดยการวัดความสามารถในการทะลุผ่านของหัวกด (indentor) เข้าไปในชิ้นทดสอบ วัสดุที่มีความแข็งน้อยกว่าจะกดได้ลึกกว่า เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า Durometer

ในวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พลาสติก นิยมวัดความแข็งด้วยเครื่อง Shore hardness durometer ลักษณะของ Durometer แตกต่างกัน 2 ชนิด ดังนี้

1) Durometer A ใช้กับวัสดุที่อ่อนนิ่มจำพวกยาง ส่วนหัวกด shore A จะเป็นปลายตัด
2) Durometer D ใช้กับวัสดุที่แข็งกว่า เช่น พลาสติก ส่วนหัวกด shore D เป็นปลายแหลม

ในกรณีของโฟม มักนิยมวัดความแข็งด้วยเครื่อง Expanded rubber hardness tester ซึ่งในทางอุตสาหกรรมมักเรียกว่า เครื่องวัดความแข็งชนิด shore C ซึ่งมีลักษณะหัวกดที่โค้งมนและมีรัศมีประมาณ 5-8 มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข-1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทน

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมในแม่แบบเปิดที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น)

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความต้านทานแรงกด (MPa) ชิ้นงานตัวอย่างที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3		
4.0	0.414	0.400	0.380	0.398	0.0171
4.5	0.343	0.316	0.330	0.329	0.0135
5.0	0.271	0.256	0.274	0.267	0.0096
5.5	0.234	0.238	0.222	0.231	0.0083
6.0	0.188	0.180	0.190	0.186	0.0053

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น) ที่เตรียมในแม่แบบปิด [ความหนาแน่นของชิ้นงานใกล้เคียงกัน (เฉลี่ย 44.7 ก.ก./ลบ.ม.)]

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความต้านทานแรงกด (MPa) ชิ้นงานตัวอย่างที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3		
4.0	0.278	0.284	0.297	0.290	0.0097
4.5	0.314	0.299	0.326	0.313	0.0135
5.0	0.351	0.358	0.354	0.350	0.0035
5.5	0.388	0.385	0.391	0.388	0.0030
6.0	0.443	0.426	0.431	0.433	0.0087

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทน

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมในแม่แบบเปิดที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น)

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa) ชิ้นงานตัวอย่างที่ 1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4.0	0.298	0.312	0.294	0.301	0.0095
4.5	0.258	0.220	0.248	0.242	0.0197
5.0	0.197	0.180	0.202	0.193	0.0115
5.5	0.174	0.160	0.156	0.163	0.0095
6.0	0.133	0.137	0.126	0.132	0.0056

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น) ที่เตรียมในแม่แบบปิด [ความหนาแน่นของชิ้นงานใกล้เคียงกัน (เฉลี่ย 44.7 ก.ก./ลบ.ม.)]

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความต้านทานแรงดัดโค้ง (MPa) ชิ้นงานตัวอย่างที่ 1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
4.0	0.383	0.419	0.407	0.403	0.0183
4.5	0.489	0.463	0.481	0.478	0.0133
5.0	0.578	0.606	0.556	0.580	0.0251
5.5	0.675	0.684	0.695	0.685	0.0100
6.0	0.752	0.786	0.767	0.768	0.0170

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข-3 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทน

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่เตรียมในแม่แบบเปิดที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น)

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความแข็ง (Newton) ชิ้นงานตัวอย่างที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3		
4.0	69.00	68.00	68.50	68.50	0.50
4.5	63.00	65.00	63.00	63.67	1.15
5.0	60.00	58.00	59.50	59.17	1.04
5.5	56.00	54.50	57.00	55.83	1.26
6.0	53.00	53.00	54.00	53.33	0.58

ตารางที่ ข-6 ผลการทดสอบความแข็งของชิ้นงานโฟมพอลิยูรีเทนที่ทำการแปรผันปริมาณสารฟู (น้ำกลั่น) ที่เตรียมในแม่แบบปิด [ความหนาแน่นของชิ้นงานใกล้เคียงกัน (เฉลี่ย 44.7 ก.ก./ลบ.ม.)]

ปริมาณน้ำกลั่น (pbw)	ความแข็ง (Newton) ชิ้นงานตัวอย่างที่			ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	1	2	3		
4.0	58.00	61.00	60.50	59.83	1.61
4.5	64.00	64.50	65.00	64.50	0.50
5.0	67.00	69.00	70.50	68.83	1.76
5.5	70.00	73.00	71.00	71.33	1.53
6.0	72.50	74.00	74.00	73.50	0.87

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชาญวิทย์ พูนศรีไชยสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 2 เดือนกันยายน ปีพุทธศักราช 2522 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ (เกียรตินิยมอันดับ 2) จากภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในปีการศึกษา 2544 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้น ปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลาย ปีการศึกษา 2547 มีประสบการณ์เคยได้รับการแต่งตั้งเป็นกรรมการชมรมยุววิศวกรรมเคมีแห่งประเทศไทย (JCET) ของสมาคมวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2545 และเคยได้รับทุนนักศึกษาผู้มีผลการเรียนดีของคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรในปี พ.ศ. 2544 และ 2545 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย