

## รายการอ้างอิง

1. Hablot, E., et al., *Dimer acid-based thermoplastic bio-polyamides: reaction kinetics, properties and structure*. Polymer, 2010. **51**(25): p. 5895-5902.
2. Kavitha, V., et al., *Biopolymer from microbial assisted in situ hydrolysis of triglycerides and dimerization of fatty acids*. Bioresource technology, 2010. **101**(1): p. 337-343.
3. Seniha Güner, F., Y. Yağcı, and A. Tuncer Erciyas, *Polymers from triglyceride oils*. Progress in Polymer Science, 2006. **31**(7): p. 633-670.
4. McMurry, J., *Organic Chemistry*. 7th ed. 2008: Thomson Brooks/Cole.
5. สุนันทา วิบูลย์จันทร์, เคมีอินทรีย์. 9 ed. 2548, นนทบุรี: เอ็นดับบลิว มีเดีย จำกัด. 583.
6. Smith, W.F., *วัสดุวิศวกรรม (Principles of materials science and engineering)*. 2547, กรุงเทพฯ: ท้อป.
7. มหาวิทยาลัยรามคำแหง. พอลิเมอร์. 2557; Available from: [http://e-book.ram.edu/e-book/s/SE502%20\(54115\)/chapter6.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/s/SE502%20(54115)/chapter6.pdf).
8. สุภาสินี ลิ้มปานภาพ. พอลิเมอร์. 2557; Available from: <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter09.pdf>.
9. Center, N.M.a.M.T. ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้. 2007; Available from: [http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable\\_plastic/type\\_de\\_plas.html](http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html).
10. Lotus\_Etc. *Biodegradable plastic*. 2557 30/9/2551; Available from: <http://www.vcharkarn.com/varticle/38208>.
11. Bruggeman, J.P., et al., *Biodegradable poly (polyol sebacate) polymers*. Biomaterials, 2008. **29**(36): p. 4726-4735.
12. Chen, Q.-Z., et al., *Characterisation of a soft elastomer poly (glycerol sebacate) designed to match the mechanical properties of myocardial tissue*. Biomaterials, 2008. **29**(1): p. 47-57.
13. Chrissafis, K., et al., *Thermal decomposition of poly (propylene sebacate) and poly (propylene azelate) biodegradable polyesters: evaluation of mechanisms using TGA, FTIR and GC/MS*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2011. **92**(1): p. 123-130.
14. Liu, Q., et al., *Structure and properties of thermoplastic poly (glycerol sebacate) elastomers originating from prepolymers with different molecular weights*. Journal of applied polymer science, 2007. **104**(2): p. 1131-1137.
15. Migneco, F., et al., *Poly (glycerol-dodecanoate), a biodegradable polyester for medical devices and tissue engineering scaffolds*. Biomaterials, 2009. **30**(33): p. 6479-6484.



2099823261

16. Mitsak, A.G., A.M. Dunn, and S.J. Hollister, *Mechanical characterization and non-linear elastic modeling of poly (glycerol sebacate) for soft tissue engineering*. Journal of the mechanical behavior of biomedical materials, 2012. 11: p. 3-15.
17. Nagata, M., et al., *Synthesis and enzymatic degradation of regular network aliphatic polyesters*. Reactive and Functional Polymers, 1996. 30(1): p. 165-171.
18. Patel, A., et al., *Highly elastomeric poly (glycerol sebacate)-co-poly (ethylene glycol) amphiphilic block copolymers*. Biomaterials, 2013. 34(16): p. 3970-3983.
19. Slivniak, R. and A.J. Domb, *Lactic acid and ricinoleic acid based copolyesters*. Macromolecules, 2005. 38(13): p. 5545-5553.
20. Tang, J., et al., *Synthesis and characterization of elastic aliphatic polyesters from sebacic acid, glycol and glycerol*. European polymer journal, 2006. 42(12): p. 3360-3366.
21. Tsai, C.-J., et al., *Synthesis and characterization of polyesters derived from succinic acid, ethylene glycol and 1, 3-propanediol*. European Polymer Journal, 2008. 44(7): p. 2339-2347.
22. Umare, S., A. Chandure, and R. Pandey, *Synthesis, characterization and biodegradable studies of 1, 3-propanediol based polyesters*. Polymer degradation and stability, 2007. 92(3): p. 464-479.
23. Yang, Y., et al., *Poly (oleic diacid-co-glycerol): comparison of polymer structure resulting from chemical and lipase catalysis*. Macromolecules, 2011. 44(7): p. 1977-1985.
24. Chaichua, B., P. Prasassarakich, and S. Poompradub, *In situ silica reinforcement of natural rubber by sol-gel process via rubber solution*. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2009. 52(2): p. 219-227.
25. Lemieux, R. and E.v. Rudloff, *Periodate-permanganate oxidations: I. Oxidation of olefins*. Canadian Journal of Chemistry, 1955. 33(11): p. 1701-1709.
26. Kadhum, A.A.H., et al., *Preparation, characterization, and theoretical studies of azelaic acid derived from oleic acid by use of a novel ozonolysis method*. Research on Chemical Intermediates, 2012. 38(2): p. 659-668.
27. Hsieh, P.-W., et al., *The co-drug of conjugated hydroquinone and azelaic acid to enhance topical skin targeting and decrease penetration through the skin*. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 2012. 81(2): p. 369-378.



เลขหมู่..... ๑๗-๒๗๖  
 เลขทะเบียน..... 7153  
 วันเดือนปี..... 16 มี.ค. 2560

28. Sathiskumar, P. and G. Madras, *Synthesis, characterization, degradation of biodegradable castor oil based polyesters*. *Polymer Degradation and Stability*, 2011. **96**(9): p. 1695-1704.
29. Ağach, M., et al., *Synthesis, characterization, biodegradability and surfactant properties of bio-sourced lauroyl poly (glycerol-succinate) oligoesters*. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2013. **419**: p. 263-273.
30. Krongauz, V.V., *Crosslink density dependence of polymer degradation kinetics: photocrosslinked acrylates*. *Thermochimica Acta*, 2010. **503**: p. 70-84.
31. Kijchavengkul, T., et al., *Atmospheric and soil degradation of aliphatic-aromatic polyester films*. *Polymer Degradation and Stability*, 2010. **95**(2): p. 99-107.
32. Soulis, S., et al., *Structural analysis of biodegradable low-molecular mass copolyesters based on glycolic acid, adipic acid and 1, 4 butanediol and correlation with their hydrolytic degradation*. *Polymer Degradation and Stability*, 2012. **97**(11): p. 2091-2103.



ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

## การคำนวณ

## 1. การคำนวณร้อยละผลได้ของกรดอะซิลาอิกผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน

$$\text{ร้อยละผลได้ของกรดอะซิลาอิก (\% acid yield)} = \frac{M_{A,R}}{M_{A,I}} \times 100 \quad (3.1)$$

โดย  $M_{A,R}$  คือ น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

$M_{A,I}$  คือ น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี

## ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเริ่มต้นของกรดโอเลอิกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา} = 0.28 \text{ g}$$

$$\text{โมลเริ่มต้นของกรดโอเลอิกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา} = \frac{0.28 \text{ g}}{282.46 \text{ g/mol}}$$

$$= 0.001 \text{ mol}$$

$$\text{ดังนั้น โมลของกรดอะซิลาอิกที่สังเคราะห์ได้ตามทฤษฎี} = 0.001 \text{ mol}$$

$$\text{น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี (M}_{A,I}\text{)} = 0.001 \text{ mol} \times \frac{188.22 \text{ g}}{\text{mol}}$$

$$= 0.19 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่ได้จากการทำปฏิกิริยา (M}_{A,R}\text{)} = 0.1677 \text{ g}$$

$$\text{จะได้ ร้อยละผลได้ของกรดอะซิลาอิก (\% acid yield)} = \frac{0.1677}{0.19} \times 100$$

$$= 88.2 \%$$



2598823261

2. การคำนวณร้อยละการเปลี่ยนของกรดอะซิลาอิก และร้อยละผลได้ของพรีพอลิเมอร์ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชัน

$$\text{ร้อยละการเปลี่ยนของกรดอะซิลาอิก (\% acid conversion)} = \frac{M_{A,S} - M_{A,F}}{M_{A,S}} \times 100$$

โดย  $M_{A,S}$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของกรดอะซิลาอิกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

$M_{A,F}$  คือ น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา

$$\text{น้ำหนักเริ่มต้นของมอนอเมอร์ (} M_S \text{)} = M_{A,S} + M_{G,S}$$

$$\text{ร้อยละผลได้ของพรีพอลิเมอร์ (\% prepolymer yield)} = \frac{M_P}{M_S} \times 100$$

โดย  $M_{A,S}$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของกรดอะซิลาอิกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

$M_{G,S}$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของกลีเซอรอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

$M_S$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

$M_P$  คือ น้ำหนักของพรีพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา

### ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะของการทดลอง

อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส

เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 14 ชั่วโมง

อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอล เท่ากับ 1.5:1.0

การคำนวณ

$$\text{น้ำหนักเริ่มต้นของกรดอะซิลาอิกที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (} M_{A,S} \text{)} = 30.00 \text{ g}$$



$$\text{น้ำหนักเริ่มต้นของกลีเซอรอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (M_{G,S})} = 14.65 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักของกรดอะซิลาอิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (M_{A,F})} = 1.54 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ร้อยละการเปลี่ยนของกรดอะซิลาอิก (\% acid conversion)} &= \frac{30.00 - 1.54}{30.00} \times 100 \\ &= 94.9 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักเริ่มต้นของมอนอเมอร์ (M_S)} &= 30.00 + 14.65 \\ &= 34.65 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักของพรีพอลิเมอร์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา (M_p)} = 23.92 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ร้อยละผลได้ของพรีพอลิเมอร์ (\% prepolymer yield)} &= \frac{28.17}{34.65} \times 100 \\ &= 81.3 \% \end{aligned}$$

3. การคำนวณร้อยละสัดส่วนของโครงสร้างต่างๆ และสัดส่วนในการถูกแทนที่ของกลีเซอรอลหนึ่งโมลด้วยกรดอะซิลาอิก (Degree of substitution, DS<sub>avg</sub>)

$$T_g \% = \frac{T_g}{L_{1,2} + L_{1,3} + T_g + \text{Den}} \times 100$$

$$L_{1,2} \% = \frac{L_{1,2}}{L_{1,2} + L_{1,3} + T_g + \text{Den}} \times 100$$

$$L_{1,3} \% = \frac{L_{1,3}}{L_{1,2} + L_{1,3} + T_g + \text{Den}} \times 100$$

$$\text{Den}\% = \frac{\text{Den}}{L_{1,2} + L_{1,3} + T_g + \text{Den}} \times 100$$



$$DS_{avg} = [L_{1,2}\%(2) + L_{1,3}\%(2) + T_g\%(1) + Den\%(3)]/100$$

- โดย  $T_g$  คือ พื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างแบบ Terminal ของกลีเซอรอลในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $L_{1,2}$  คือ พื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างแบบ Linear ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 1 และ 2 ของกลีเซอรอลในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $L_{1,3}$  คือ พื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างแบบ Linear ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 1 และ 3 ของกลีเซอรอลในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- Den คือ พื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างแบบ Dendritic ของกลีเซอรอลสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $T_g\%$  คือ ร้อยละของสัดส่วนโครงสร้างแบบ Terminal ในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $L_{1,2}\%$  คือ ร้อยละของสัดส่วนโครงสร้างแบบ Linear ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 1 และ 2 ของกลีเซอรอลในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $L_{1,3}\%$  คือ ร้อยละของสัดส่วนโครงสร้างแบบ Linear ที่ตำแหน่งคาร์บอนตัวที่ 1 และ 3 ของกลีเซอรอลในสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- Den% คือ ร้อยละของสัดส่วนโครงสร้างแบบ Dendritic ของกลีเซอรอลสายโซ่พอลิเอสเทอร์
- $DS_{avg}$  คือ สัดส่วนในการถูกแทนที่ของกลีเซอรอลหนึ่งโมลด้วยกรดอะซิลาอิก

### การคำนวณ

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^{13}\text{C-NMR}$  ที่ช่วงเคมีคัลชิฟท์เท่ากับ 68-73 พีพีเอ็ม ของพรีพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.0:1.0 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้พีคและพื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ ก.1





ตารางที่ ก.1 ค่าเคมีคัลชิฟต์และพื้นที่ใต้พีคของโครงสร้างต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค  $^{13}\text{C-NMR}$  ของพรีพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.0:1.0 เป็นเวลา 14 ชั่วโมง

Structure pattern	Chemical shift (ppm)	Normalized Area
Terminal unit ( $T_g$ )	70.29	2.84
Linear unit ( $L_{1,2}$ )	68.20	2.42
Linear unit ( $L_{1,3}$ )	72.12	1.00
Dendritic unit ( $Den$ )	68.98	0.43

จากนั้นนำพื้นที่ใต้พีคมาคำนวณหาร้อยละสัดส่วนของแต่ละโครงสร้างได้ดังนี้

$$T_g \% = \frac{2.84}{2.42 + 1.00 + 2.84 + 0.43} \times 100$$

$$= 42.45 \%$$

$$L_{1,2} \% = \frac{2.42}{2.42 + 1.00 + 2.84 + 0.43} \times 100$$

$$= 36.17 \%$$

$$L_{1,3} \% = \frac{1.00}{2.42 + 1.00 + 2.84 + 0.43} \times 100$$

$$= 14.95 \%$$

$$Den \% = \frac{0.43}{2.42 + 1.00 + 2.84 + 0.43} \times 100$$

$$= 6.43 \%$$

จากนั้นนำร้อยละสัดส่วนของแต่ละโครงสร้างไปคำนวณหาสัดส่วนในการถูกแทนที่ของกลีเซอรอลหนึ่งโมลด้วยกรดอะซิลาอิก (Degree of substitution,  $DS_{avg}$ ) โดยในสมการการคำนวณจะมีการคูณด้วยจำนวนหมู่แอซิดเข้าทำปฏิกิริยาในแต่ละโครงสร้างเข้าไปด้วย



$$DS_{avg} = \frac{[36.17(2) + 14.95(2) + 42.45 + 6.43(3)]}{100}$$

$$= 1.79$$

4. การคำนวณร้อยละการบวมตัว ร้อยละสกัดส่วนโซล และความหนาแน่นการเชื่อมขวาง

$$Q = \frac{(M_1 - M_3)}{M_1} \times 100\%$$

$$R = \frac{(M_2 - M_3)}{M_3} \times 100\%$$

- โดย  $M_1$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของพอลิเอสเตอร์ก่อนเริ่มทดลอง  
 $M_2$  คือ น้ำหนักของพอลิเอสเตอร์หลังแช่ใน THF และซับด้วยกระดาษกรอง  
 $M_3$  คือ น้ำหนักของพอลิเอสเตอร์หลังแช่ใน THF และอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง  
 Q คือ ร้อยละสกัดส่วนโซลของพอลิเอสเตอร์  
 R คือ ร้อยละการบวมตัวของพอลิเอสเตอร์ในสารละลาย THF

และ

$$n = \frac{1 \ln(1 - v_2) + v_2 + \chi v_2^2}{2 v_1 ((v_2/2) - v_2^{1/3})}$$

$$v_2 = [1 - (\frac{M_2 - M_3}{M_3}) (\frac{\rho_2}{\rho_1})]^{-1}$$

$$n = \frac{E}{3RT}$$



$$\frac{E}{3RT} = \frac{1}{2} \frac{\ln(1-v_2) + v_2 + \chi v_2^2}{v_1((v_2/2) - v_2^3)}$$

โดย	$\eta$	คือ ความหนาแน่นการเชื่อมขวาง
	$v_1$	คือ ปริมาตรตัวทำละลาย
	$v_2$	คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ที่สภาวะการบวมตัวสมดุล
	$\chi$	คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์และตัวทำละลาย (Flory-Huggins parameter)
	$\rho_1$	คือ ความหนาแน่นของพอลิเมอร์
	$\rho_2$	คือ ความหนาแน่นของตัวทำละลาย
	$E$	คือ ค่ามอดูลัสของยัง
	$R$	คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (Universal gas constant)
	$T$	คือ อุณหภูมิในการทดสอบสมบัติเชิงกล

### การคำนวณ

นำแผ่นพอลิกลีเซอโรลอะซีเลตที่ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอโรลเท่ากับ 1.0:1.0 และผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปทดสอบการบวมตัวในสารละลาย THF ได้ข้อมูลดังนี้

$$\text{น้ำหนักเริ่มต้นของพอลิเอสเทอร์ก่อนเริ่มทดลอง (M}_1\text{)} = 0.2187 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักของพอลิเอสเทอร์หลังแช่ใน THF และซับด้วยกระดาษกรอง (M}_2\text{)} = 1.0716 \text{ g}$$

$$\text{น้ำหนักของพอลิเอสเทอร์หลังอบในตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (M}_3\text{)} = 0.1668 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ร้อยละการบวมตัวของพอลิเอสเทอร์ (R)} &= \frac{(1.0716 - 0.1668)}{0.1668} \times 100\% \\ &= 542.45 \% \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{และร้อยละสัดส่วนโวลของพอลิเอสเทอร์ (Q)} &= \frac{(0.2187 - 0.1668)}{0.2187} \times 100\% \\ &= 23.73\% \end{aligned}$$

จากข้อมูลที่ได้จากการหาการบวมตัวและสมบัติเชิงกลของพอลิเอสเทอร์จะสามารถนำมาใช้หาความหนาแน่นการเชื่อมขวางได้จากสมการความสัมพันธ์ของ Flory และ Rehner ดังนี้

ปริมาตรตัวทำละลาย ( $v_1$ )	= 81.11	$\text{cm}^3/\text{mol}$
ความหนาแน่นของพอลิเมอร์ ( $\rho_1$ )	= 1.15	$\text{g}/\text{cm}^3$
ความหนาแน่นของตัวทำละลาย ( $\rho_2$ )	= 0.889	$\text{g}/\text{cm}^3$
ค่ามอดูลัสของยัง ( $E$ )	= 0.98	MPa
ค่าคงที่ของแก๊ส ( $R$ )	= 8.314	$\text{cm}^3 \cdot \text{MPa}/\text{K} \cdot \text{mol}$
อุณหภูมิในการทดสอบสมบัติเชิงกล ( $T$ )	= 296	K

หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์และตัวทำละลาย (Flory-Huggins parameter,  $\chi$ ) มาใช้ในการคำนวณ โดยเริ่มจากการหาค่าสัดส่วนโดยปริมาตรของพอลิเมอร์ที่สภาวะการบวมตัวสมดุล ( $v_2$ ) จากการทดสอบการบวมตัวมาใช้คำนวณ

$$\begin{aligned} v_2 &= \left[ 1 + (0.511) \left( \frac{0.889}{1.15} \right) \right]^{-1} \\ &= 0.2020 \end{aligned}$$

นำค่าทั้งหมดมาแทนในสมการหาค่า  $\chi$

$$\begin{aligned} \frac{E}{3RT} &= \frac{1}{2} \frac{\ln(1-v_2) + v_2 + \chi v_2^2}{v_1 \left( (v_2/2) - v_2^3 \right)} \\ \frac{0.98 \text{MPa}}{3(8.314 \frac{\text{cm}^3 \cdot \text{MPa}}{\text{K} \cdot \text{mol}})(296\text{K})} &= \frac{1}{2} \frac{\ln(1-0.2020) + 0.2020 + \chi(0.2020)^2}{81.11 \text{cm}^3/\text{mol} \left( (0.2020/2) - 0.2020^3 \right)} \\ \chi &= 0.32 \end{aligned}$$

คำนวณหาค่า  $\chi$  ของทั้งสามอัตราส่วนโดยโมลแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์และตัวทำละลายของพอลิเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลต่าง ๆ เป็นเวลา 14 ชั่วโมง และขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

Molar ratio (Azelaic acid:Glycerol)	$\chi$
1.0:1.0	0.32
1.5:1.0	0.13
1.6:1.0	0.27

เมื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจะได้ค่า  $\chi = 0.24$  ไปใช้ในการหาค่าความหนาแน่นการเชื่อมขวาง ( $n$ )

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความหนาแน่นการเชื่อมขวาง (n)} &= \frac{1 \ln(1 - 0.2020) + 0.2020 + 0.24(0.2020')}{2 \cdot 81.11 \text{ cm}^3/\text{mol} \left( (0.2020/2) - 0.2020'' \right)} \\ &= 1.76 \times 10^{-4} \text{ mol/cm}^3 \end{aligned}$$

#### 5. การคำนวณพลังงานการสลายตัวทางความร้อนของพอลิเอสเทอร์

$$\ln[\ln(1 - \alpha)^{-1}] = \frac{E_t \theta}{RT_{\max}^2}$$

$$\alpha = \frac{M_I - M}{M_I - M_F}$$

$$\theta = T - T_{\max}$$

- โดย  $\alpha$  คือ อัตราส่วนการสลายตัว (Decomposed factor)  
 $E_t$  คือ พลังงานการสลายตัวทางความร้อน  
 $R$  คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (Universal gas constant)

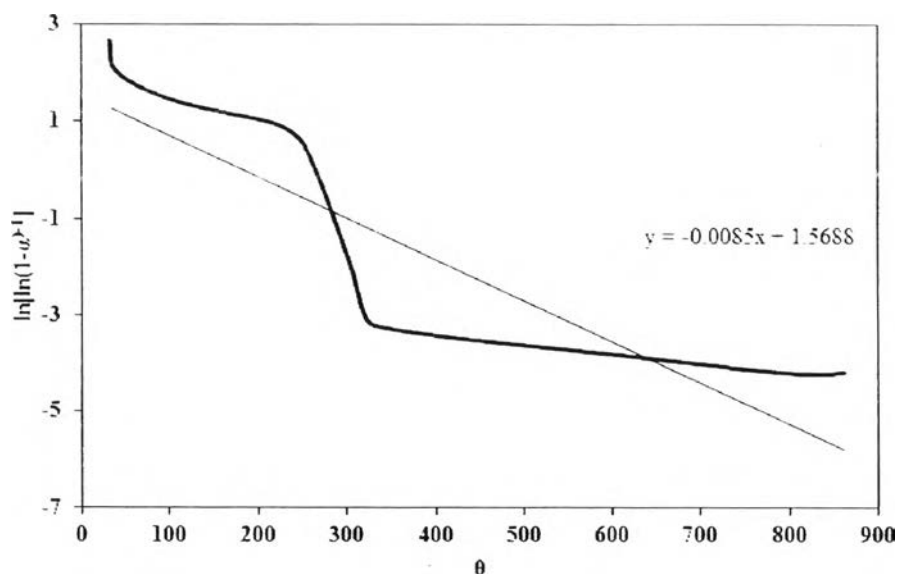
- $T_{\max}$  คือ อุณหภูมิ ณ จุดที่มีอัตราการสลายตัวทางความร้อนสูงสุด  
 $T$  คือ อุณหภูมิอื่น ๆ  
 $M$  คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิอื่น ๆ  
 $M_i$  คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น  
 $M_f$  คือ น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิลิ้นสุด

### การคำนวณ

นำแผ่นพอลิกลีเซอรอลอะซีเลตที่ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.5:1.0 และผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปทดสอบการสลายตัวทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 40-1000 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิค TGA ได้ข้อมูลดังนี้

ค่าคงที่ของแก๊ส (R)	= 8.314 J/K·mol
อุณหภูมิ ณ จุดที่มีอัตราการสลายตัวทางความร้อนสูงสุด ( $T_{\max}$ )	= 705.52 K
น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิเริ่มต้น ( $M_i$ )	= 8.329 mg
น้ำหนักของพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิลิ้นสุด ( $M_f$ )	= 0.124 mg

นำค่าเบื้องต้นไปคำนวณหาค่า  $\ln[\ln(1-\alpha)^{-1}]$  และ  $\theta$  แล้วนำไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์เพื่อหาค่าความชันของกราฟดังแสดงในรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln[\ln(1-\alpha)^{-1}]$  และ  $\theta$  ของพอลิกลีเซอรอลอะซีเลตที่ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซีลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.5:1.0 และผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

นำค่าความชันที่ได้มาคำนวณหาค่าพลังงานการสลายตัวทางความร้อน ( $E_t$ )

$$\text{slope} = \frac{E_t \theta}{RT_{\text{max}}^2}$$

$$0.0085 = \frac{E_t}{(8.314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}})(705.52)^2}$$

$$E_t = 35.17 \text{ KJ/mol}$$



## 6. การคำนวณร้อยละมวลสูญเสียของการย่อยสลายทางชีวภาพ

$$M\% = \frac{(M_i - M_f)}{M_i} \times 100\%$$

โดย M% คือ ร้อยละมวลสูญเสีย

$M_i$  คือ น้ำหนักเริ่มต้นของพอลิเอสเทอร์ก่อนการทดสอบ

$M_f$  คือ น้ำหนักของพอลิเอสเทอร์หลังแช่ในสารละลายและนำไปอบ

## การคำนวณ

นำแผ่นพอลิกลีเซอรอลอะซีเลตที่ผ่านปฏิกิริยาพอลิคอนเดนเซชันเป็นเวลา 14 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.0:1.0 และผ่านการขึ้นรูปด้วยความร้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพในสารละลาย PBS pH7.2 เป็นเวลา 30 วัน ได้ข้อมูลดังนี้

น้ำหนักเริ่มต้นของพอลิเอสเทอร์ก่อนการทดสอบ ( $M_i$ ) = 0.2799 g

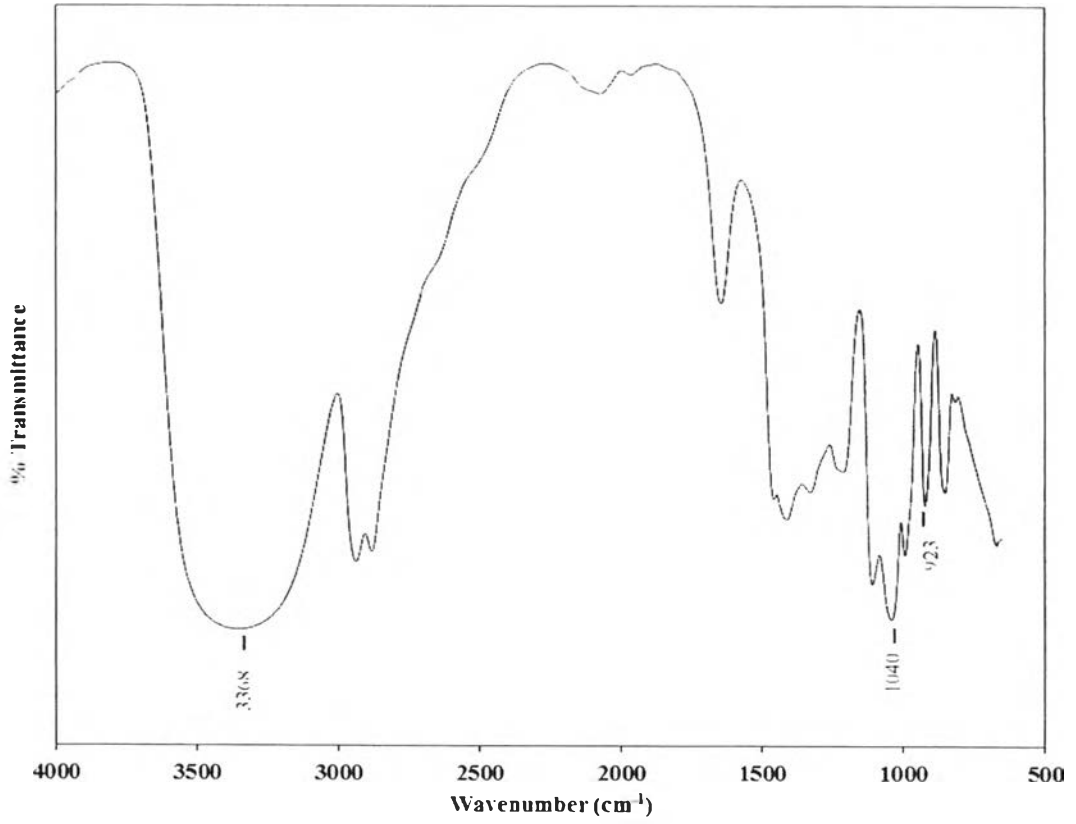
น้ำหนักของพอลิเอสเทอร์หลังแช่ในสารละลายและนำไปอบ ( $M_f$ ) = 0.2151 g

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ร้อยละมวลสูญเสียของการย่อยสลายทางชีวภาพ (M\%)} &= \frac{(0.2799 - 0.2151)}{0.2799} \times 100\% \\ &= 23.15 \% \end{aligned}$$





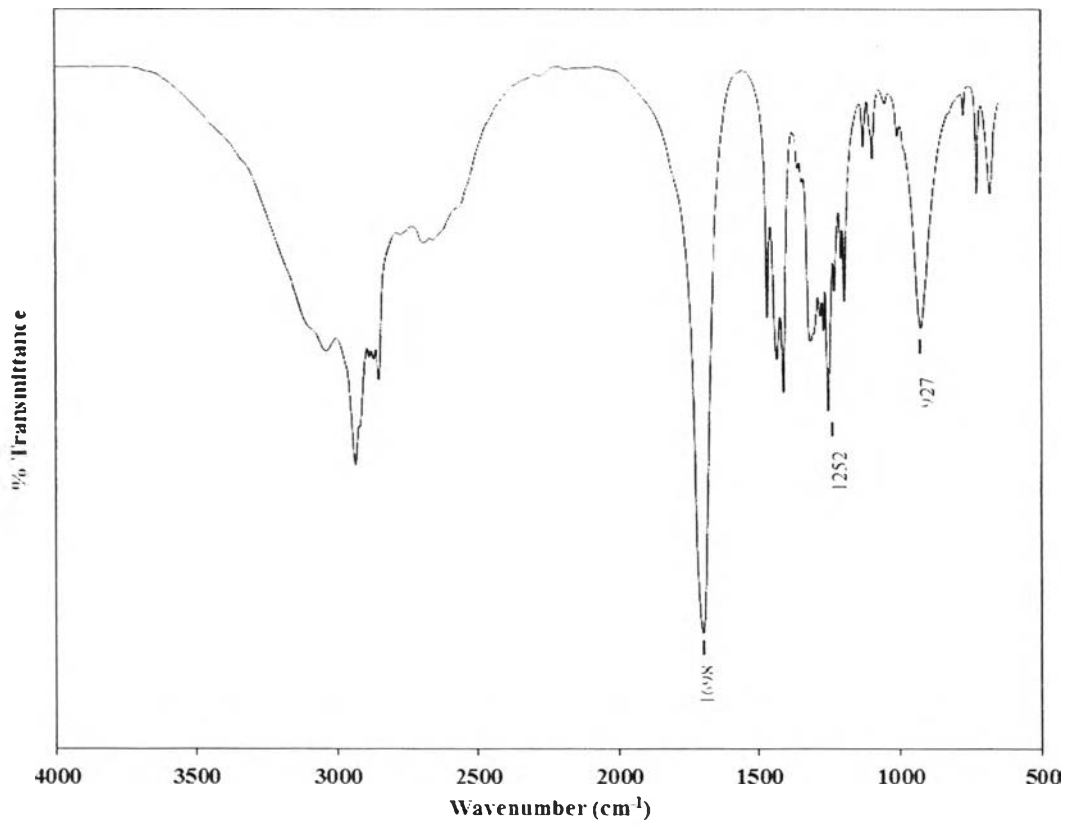
ภาคผนวก ข  
FTIR spectra



รูปที่ ข.1 FTIR สเปกตรัมของกลีเซอรอล

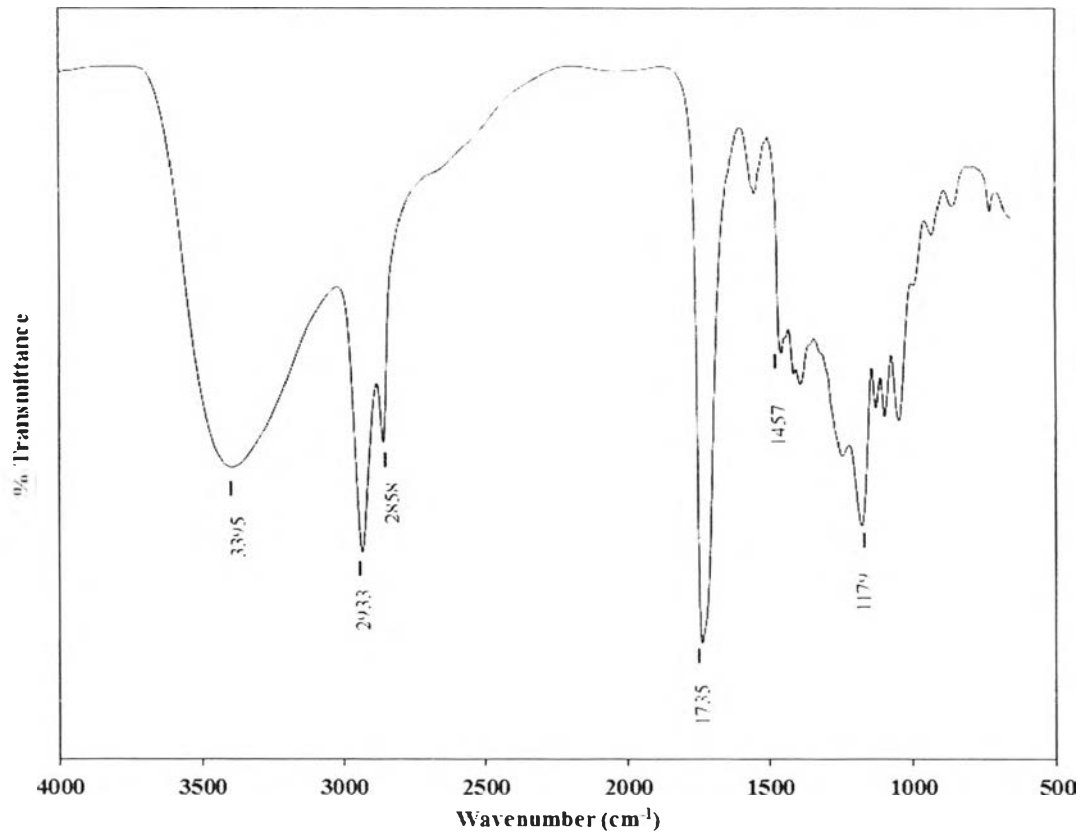


2598823261



รูปที่ ข.2 FTIR สเปกตรัมของกรดอะซิลาอิก

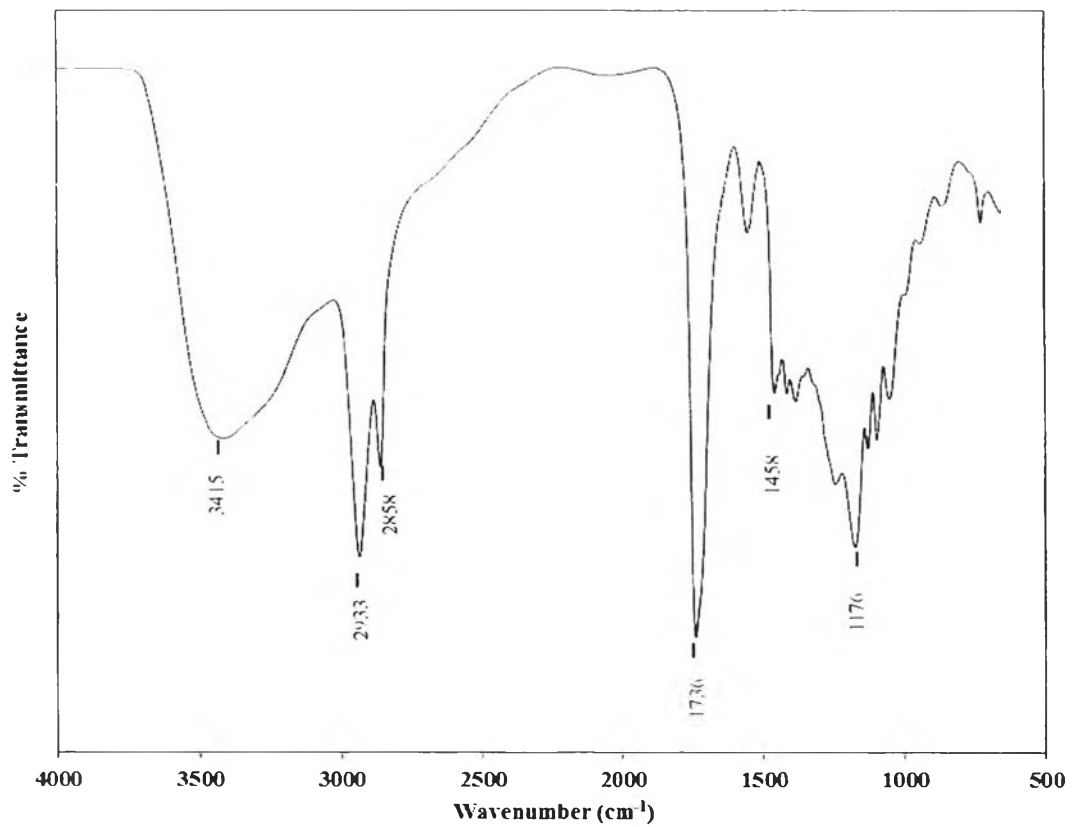




รูปที่ ข.3 FTIR สเปกตรัมของพรีพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.0:1.0 ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



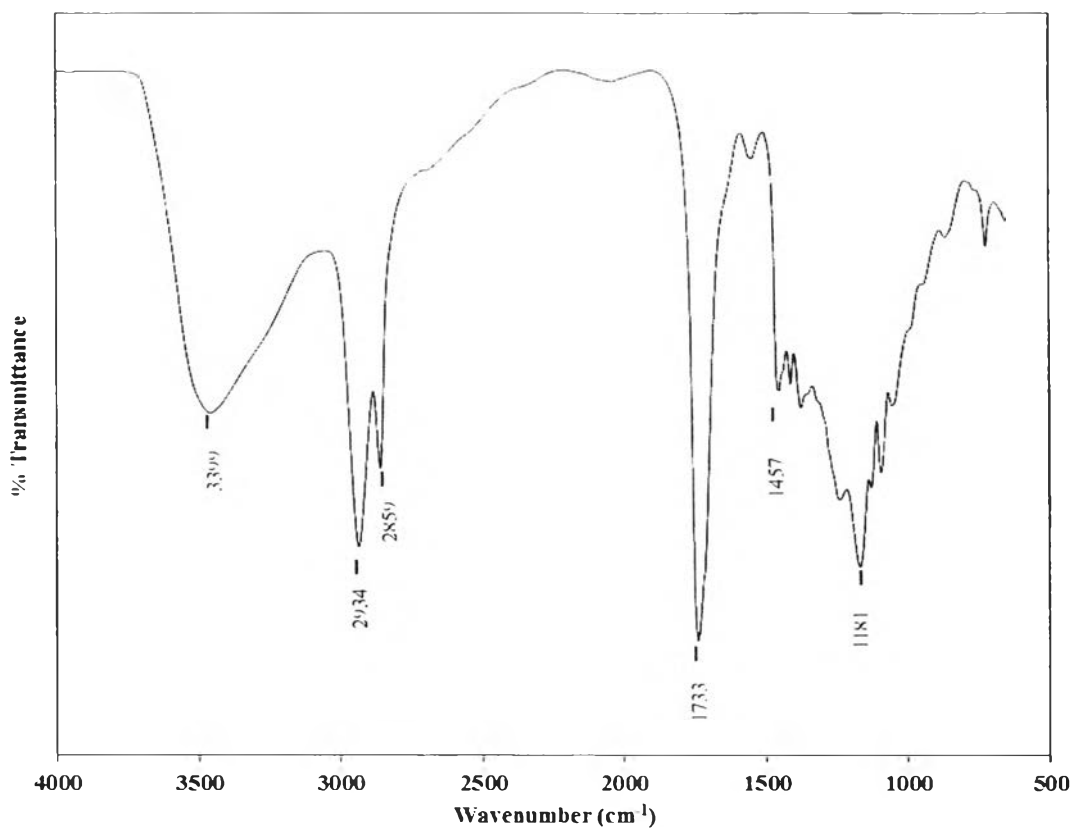
269882261



รูปที่ ข.4 FTIR สเปกตรัมของพรีพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอลเท่ากับ 1.0:1.0 ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



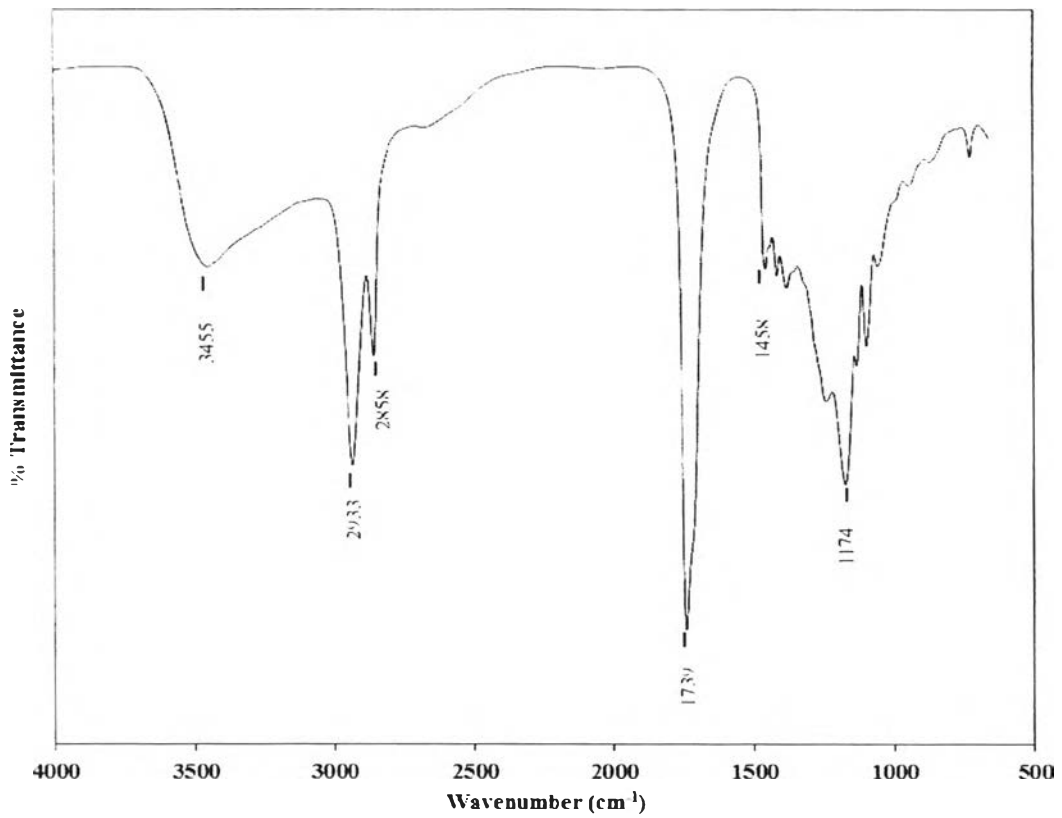
2698823261



รูปที่ ข.5 FTIR สเปกตรัมของพรีพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอล เท่ากับ 1.0:1.0 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง



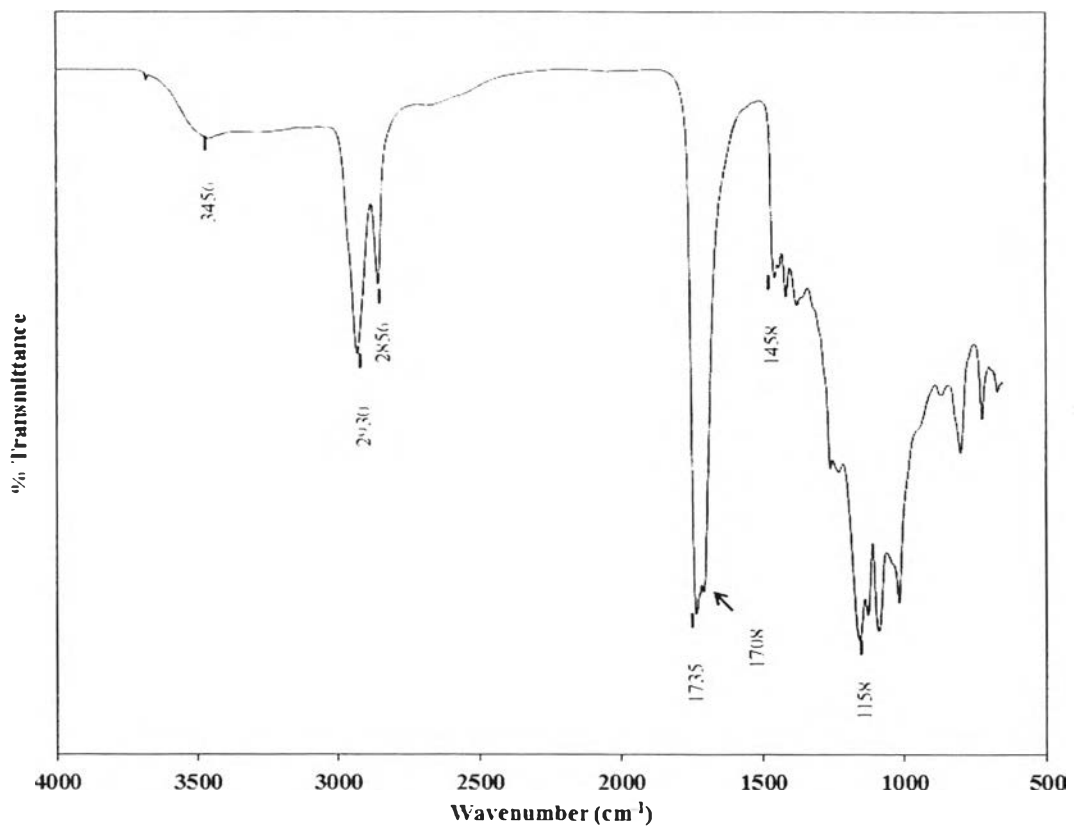
2898823261



รูปที่ ข.6 FTIR สเปกตรัมของพรีพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอล เท่ากับ 1.5:1.0 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง



2698823261



รูปที่ ข.7 FTIR สเปกตรัมของพรีพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากอัตราส่วนโดยโมลของกรดอะซิลาอิกต่อกลีเซอรอล เท่ากับ 1.6:1.0 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง



2898823261

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายฉัตรพัฒน์ จงเจริญชัยกุล เกิดวันที่ 28 กรกฎาคม 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีเชื้อเพลิง ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2552 และได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตร วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553 และได้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการนานาชาติ The National Graduate Research Conference (NGRC) ครั้งที่ 29 ณ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ระหว่างวันที่ 24-25 ตุลาคม 2556

