

การสังเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์คูล์ซึมน้ำสูงของแป้งมันสำปะหลัง
กราฟต์ด้วยพอลิเมอร์ร่วมอะคริลาไมด์-กรโคทาโคนิก



นายพงศรััตน์ ลานทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

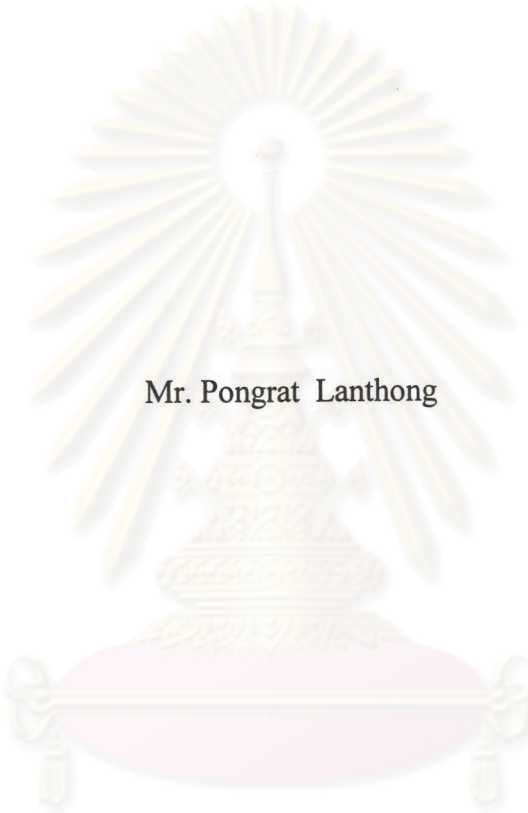
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1596-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CASSAVA STARCH GRAFTED
POLY[ACRYLAMIDE-CO-(ITACONIC ACID)] SUPERABSORBENTS



Mr. Pongrat Lanthong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science

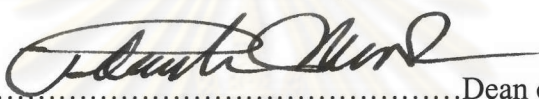
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2004

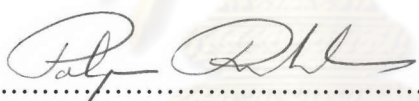
ISBN 974-53-1596-6

Thesis Title SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CASSAVA STARCH
GRAFTED POLY[ACRYLAMIDE-CO-(ITACONIC ACID)]
SUPERABSORBENTS
By Mr. Pongrat Lanthong
Field of Study Petrochemistry and Polymer Science
Thesis Advisor Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.

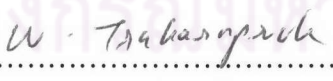
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

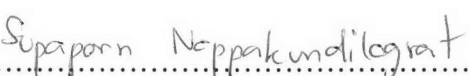

..... Dean of the Faculty of Science
(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE


..... Chairman
(Professor Pattarapan Prasassarakich, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.)


..... Member
(Associate Professor Wimonrat Trakarnpruk, Ph.D.)


..... Member
(Assistant Professor Supaporn Noppakundilokrat, Ph.D.)

พงศรััตน์ ถานทอง : การสังเคราะห์และการตรวจสอบสมบัติของพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำสูง
ของแป้งมันสำปะหลังกราฟต์ด้วยพอลิเมอร์ร่วมอะคริลาไมด์-กรดอิทาโคนิก

(SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CASSAVA STARCH GRAFTED
POLY[ACRYLAMIDE-CO-(ITACONIC ACID)] SUPERABSORBENTS)

อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. สุดา เกียรติกำจรวงศ์, 120 หน้า. ISBN 974-53-1596-6.

ได้เตรียมพอลิเมอร์ดูดซึมน้ำสูงที่สลายตัวทางชีวภาพสังเคราะห์จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์ไอโซไซยาโนเอทิลอะคริลาไมด์-กรดอิทาโคนิกลงบนแป้งมันสำปะหลังโดยใช้ระบบตัวริเริ่มแบบปรีด็อกซ์ของแอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟต และ เอ็น, เอ็น, เอ็น, เอ็น-เททระเมทิลีนไดแอมีน สารเชื่อมขวาง เอ็น, เอ็น-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ สารที่ก่อเกิดฟองเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดคือ โซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งรักษาเสถียรภาพของฟองที่เกิดด้วยไทรบลิคโคพอลิเมอร์ของพอลิออกซีเอทิลีน/พอลิออกซีโพรพิลีน/พอลิออกซีเอทิลีน โดยทำการศึกษาผลของอัตราส่วนของอะคริลาไมด์ต่อกรดอิทาโคนิก อัตราส่วนระหว่างแป้งมันสำปะหลังต่อมอนอเมอร์ทั้งสอง ปริมาณสารเชื่อมขวาง ปริมาณสารริเริ่มปฏิกิริยา อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และอัตราการกวนปฏิกิริยา ต่อความสามารถดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ผลพลอยได้ของปฏิกิริยา คือ พอลิเมอร์อิสระของโซโมพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ซึ่งได้ถูกสกัดออกโดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำการตรวจสอบหุ้มน้ำด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ลำอิเล็กตรอนแบบส่องกราด และศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยน้ำหนักเชิงความร้อน และใช้เป็นเทคนิคในการหาปริมาณของการเกิดกราฟต์ กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้นำมาย่อยสลายทางชีวภาพโดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส แป้งมันสำปะหลังที่กราฟต์ด้วยโคพอลิเมอร์อะคริลาไมด์-กรดอิทาโคนิกที่มีกรดอิทาโคนิกร้อยละ 10 โดยโมล แอมโมเนียมเพอร์ซัลเฟตร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนัก และ เอ็น, เอ็น-เมทิลีนบิสอะคริลาไมด์ร้อยละ 2.0 โดยน้ำหนัก อัตราการกวน 250 รอบต่อนาที ที่ 45 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากที่สุดถึง 379 ± 10 เท่าของน้ำหนักแห้ง หลังจากทำการย่อยสลายด้วยเอนไซม์พบว่า โครงสร้างของแป้งในกราฟต์โคพอลิเมอร์ถูกย่อยเป็นกลูโคส ซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธีดีเอ็นเอส และไม่เปลี่ยนสีสารละลายไอโอดีน แต่เปลี่ยนสีสารละลายเบนดิคซ์ แสดงว่ามีกลูโคสเกิดขึ้นหลังการย่อยสลาย นอกจากนี้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำของกราฟต์โคพอลิเมอร์ในสารละลายเกลือและสารละลายบัฟเฟอร์ และทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิค SEM ซึ่งพบว่าพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่สามารถดูดซึมน้ำสูงมีโครงสร้างที่ยึดหยุ่น

สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
ปีการศึกษา.....2547.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4572394723: MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEY WORD: BIODEGRADABLE SUPERABSORBENTS / CASSAVA STARCH / POLY
[ACRYLAMIDE-CO-(ITACONIC ACID)]

PONGRAT LANTHONG : SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF CASSAVA
STARCH GRAFTED POLY[ACRYLAMIDE-CO-(ITACONIC ACID)] SUPERABSORBENTS.

THESIS ADVISOR : PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D. 120 pp. ISBN 974-53-1596-6.

Biodegradable superabsorbent polymers were synthesized by graft copolymerization of acrylamide (AM)/itaconic acid (IA) onto cassava starch via a redox initiator system of ammonium persulfate (APS) and *N,N,N',N'*-tetramethylethylenediamine (TMED), *N,N'*-methylene bisacrylamide (N-MBA) crosslinking agent, sodium bicarbonate foaming agent, and a foam stabilizer, a triblock copolymer of polyoxyethylene/polyoxypropylene/polyoxyethylene, were used in the polymerization. The acrylamide-to-itaconic acid ratio, starch-to-monomer ratio, crosslinking agent, initiator, reaction temperature and agitation rate on the water absorption of the product were investigated. By-products of the reaction, the free polymer of the homopolymer and the copolymer, were removed by water extraction. The functional groups of graft copolymer were investigated by Fourier transform infrared spectroscopy, surface morphology by scanning electron microscopy, and thermal properties by thermal gravimetric analysis technique, which is utilized as a technique for determining the percentage of grafting. Biodegradation of the polymer was carried out using α -amylase to degrade the starch grafted copolymer. The highest water absorption ($379 \pm 10 \text{ g g}^{-1}$) of the graft copolymer was produced by the starch-to-monomer ratio of 1:2, AM-to-IA ratio of 90:10 by mole, 1.0 % wt. of APS, 2.0 % wt. of N-MBA at 250 rpm and 45°C for 30 min. After the α -amylase hydrolysis of the graft copolymers, the degradation was monitored by measuring the amount of reducing sugar by DNS method. The hydrolyzed solution gave a negative test with iodine solution and positive test by Benedict's solution, an indication of the existence of glucose units. The water absorption of the product in salt and buffered (pH) solutions were measured. Moreover, the surface morphologies of the product were revealed by SEM technique, which indicated that the flexible structure was found in the graft copolymer with the higher water absorption.

Field of study Petrochemistry and Polymer Science Student's signature *Pongrat Lanthong*

Academic year.....2004..... Advisor's signature *Suda Kiatkamjornwong*

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to take this opportunity to express my sincere thanks to my professors and individual who gave useful advice and full support in this research.

I wish to express my deep gratitude to Professor. Dr. Suda Kiatkamjornwong, my advisor, for her valuable guidance, advice, kindness, and encouragement throughout this research. My appreciations go to the thesis committee, Professor. Dr. Pattarapan Prasassarakich, Associate Prof. Dr. Wimonrat Trakarnpruk, and Assistant Prof. Dr. Supaporn Noppakundilograt for their suggestions.

I deeply thank to Siam Chemical Co.,Ltd and Thai Wah Co., Ltd, for generous support of acrylamide and cassava starch, respectively. In addition, thanks also go to the Department of Photographic Science and Printing Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, for providing the research facilities in laboratory, equipment as well as some chemicals for the whole three years and the Technological Research Equipment Center, Chulalongkorn University. Financial support from Professor Suda's RTA (Research Team Assistantship) granted by Thailand Research Fund is highly acknowledged.

I also would like to give the special thanks to all of my friends at the Department of Chemistry who have been given me encouraging during my study at Chulalongkorn University.

Finally, I would like to express my deepest appreciations to my dearest, mother, father, and sisters for their love, care, and encouragement extended to me which is the most important part for the study.

CONTENTS

	Page
Abstract (Thai).....	iv
Abstract (English).....	v
Acknowledgments.....	vi
Contents.....	vii
List of Tables.....	xii
List of Figures.....	xiv
Abbreviations.....	xviii
CHAPTER I INTRODUCTION.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Objectives.....	2
1.3 Expected Benefits Obtainable for Development of.....	2
the Research	
1.4 Scope of the Investigation.....	3
CHAPTER II THEORY AND LITERATURE REVIEW.....	5
2.1 Superabsorbent Polymers (SAPs).....	5
2.1.1 Classification of Superabsorbent Polymer.....	5
2.1.2 Physical Behavior of Superabsorbents.....	6
2.1.3 Application of Superabsorbent Polymers.....	9
2.2 Mechanism for Free Radical Polymerization.....	11
2.3 Specific Polymerization Techniques.....	13
2.3.1 Suspension Polymerization.....	13
2.3.2 Solution Polymerization.....	13

2.3.3 Graft Copolymerization.....	13
2.3.4 Emulsion Polymerization.....	14
2.4 Biodegradable Polymers.....	15
2.4.1 Natural Biodegradable Polymers.....	15
2.4.2 Starch Graft Copolymer.....	17
2.4.3 The Use of Enzyme in Starch Hydrolysis.....	18
2.2.4 Determination of Reducing Sugar.....	22
2.5 Terminology and Definition.....	24
2.5.1 Percentage Add-on.....	24
2.5.2 Grafting Ratio.....	24
2.5.3 Grafting Efficiency.....	25
2.6 Literature Survey.....	25
CHAPTER III EXPERIMENTS.....	33
3.1 Chemicals, Equipment, Glassware and Analytical.....	33
Instruments	
3.1.1 Chemicals.....	34
3.1.2 Equipment and Glassware.....	35
3.1.3 Analytical Instrument.....	35
3.2 Procedure.....	36
3.2.1 Gelatinization of Cassava Starch.....	36
3.2.2 Graft Copolymerization of Acrylamide and.....	36
Itaconic Acid onto the Gelatinized Cassava Starch	
3.2.3 Removal of the Free Polymers.....	39

3.3 Characterization of the Copolymer.....	39
3.3.1 Functional Groups by FTIR Spectroscopy.....	39
3.3.2 Determination of Percentage Free Polymers.....	40
3.3.3 Determination of Percentage Add-on.....	40
3.3.4 Determination of Percentage Grafting Ratio.....	40
3.3.5 Determination of Percentage Grafting Efficiency....	41
3.3.6 Determination of Surface Morphology of the.....	41
Copolymer	
3.3.7 Determination of Grafting Characteristics of Graft...41	
Copolymer by Thermal Gravimetric Analysis	
3.4 Water Absorption/Retention Capacities of the Copolymers... 41	
3.4.1 In Distilled Water.....	41
3.4.2 In Salt Solutions.....	42
3.4.3 In Buffer Solutions.....	42
3.5 Biodegradation Study of the Graft Copolymer.....	43
3.5.1 Enzymatic Hydrolysis of the Graft Copolymers.....	43
3.5.2 Determination of the Amount of Reducing Sugars...44	
3.5.3 Determination of Surface Morphology of the.....	45
Copolymer	
CHAPTER IV RESULTS AND DISCUSSION.....	46
4.1 Characterization of the Functional Groups of the	46
Copolymer by FTIR	

4.2 Graft Copolymerization of Acrylamide and Itaconic Acid.....	54
onto Cassava Starch	
4.2.1 Effect of Mole Percent of Acrylamide-to-.....	54
Itaconic Acid Ratios on Graft Copolymerization	
4.2.2 Effect of the Starch-to-Monomer Ratio on.....	59
Graft Copolymerization	
4.2.3 Effect of Initiation Concentration on.....	63
Graft Copolymerization	
4.2.4 Effect of the Crosslinking Agent Concentration.....	68
on Graft Copolymerization	
4.2.5 Effect of Reaction Temperature on.....	73
Graft Copolymerization	
4.2.6 Effect of Agitation Rate on Graft Copolymerization.	77
4.3 Water Absorption Capacities of the Graft	81
Copolymerization in Salt Solutions	
4.3.1 Effect of Salt Solutions on Water Absorption.....	81
4.3.2 Effect of the pH Buffer Solution on.....	82
Water Absorption	
4.4 Surface Morphology of the Copolymer.....	85
4.5 Determination of Grafting Characteristics of Graft.....	89
Copolymer by Thermal Gravimetric Analysis (TGA)	
4.6 Biodegradation Study of the Graft Copolymer.....	96
4.6.1 Enzymatic Hydrolysis of Graft Copolymers.....	97

4.6.2 Surface Morphology of the Degraded Copolymer...	103
CHAPTER V CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS.....	106
5.1 Conclusions.....	106
5.2 Suggestion for Future Work.....	108
REFERENCES.....	110
APPENDICES.....	116
APPENDIX A.....	117
APPENDIX B.....	118
VITA.....	120



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Four Classifications of Superabsorbent Polymers.....	5
2.2 Possible Application of Superabsorbent Polymers.....	10
2.3 Enzymes Used in Starch Hydrolysis.....	21
3.1 Chemicals.....	34
3.2 Parameters for Graft Copolymerization of Cassava Starch and Acrylamide/Itaconic acid.....	37
3.3 Volume of the Standard Glucose Solution, Distilled Water Used in..... Construcing the Standard Curve	45
4.1 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch and..... Starch-g-Polyacrylamide Before Extraction, After Extraction and After Acid Hydrolysis	51
4.2 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch and..... Starch-g-Poly[Acrylamide-co-(Itaconic Acid Before)] Before Extraction, After Extraction, and After Acid Hydrolysis	52
4.3 Effect of Acrylamide-to-Itaconic Acid Ratio on Graft Copolymerization.....	54
4.4 Effect of the Starch-to-Monomer Ratio on the Graft Copolymerization.....	59
4.5 Effect of Ammonium Persulfate on Graft Copolymerization.....	63
4.6 Effect of the Crosslinker Concentration on Graft Copolymerization.....	68
4.7 The Effect of the Reaction Temperature on Graft Copolymerization.....	73
4.8 The Effect of the Agitation Rate on Graft Copolymerization.....	78
4.9 Effect of Salt Solutions on Water Absorption.....	81

Table	Page
4.10 Effect of pH Buffer Solution on Water Absorption.....	83
4.11 Thermogravimetric Data of Graft Copolymer.....	92
4.12 Determination of %Add-on and %Grafting Ratio by Differential.....	95
Method in TGA	
4.13 Enzymatic Hydrolysis of the Graft Copolymer.....	99



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Water absorption in ionic polymer network.....	7
2.2 Mechanism of swelling of superabsorbent polymers.....	8
2.3 Chemical structure of amylose chain.....	16
2.4 Branched structure of amylopectin.....	16
2.5 The use of enzyme in processing starch.....	19
4.1 Infrared spectrum of cassava starch.....	47
4.2 Infrared spectrum of starch-g-polyacrylamide before extraction.....	47
4.3 Infrared spectrum of starch-g-polyacrylamide after extraction.....	48
4.4 Infrared spectrum of starch-g-polyacrylamide after acid hydrolysis.....	48
4.5 Infrared spectrum of starch-g-poly[acrylamide-co-(itaconic acid)].....	49
before extraction	
4.6 Infrared spectrum of starch-g-poly[acrylamide-co-(itaconic acid)].....	49
after extraction	
4.7 Infrared spectrum of starch-g-poly[acrylamide-co-(itaconic acid)].....	50
after acid hydrolysis	
4.8 Effect of concentration of IA on the percentage of free polymers.....	56
4.9 Effect of concentration of IA on the percentage of grafting efficiency.....	56
4.10 Effect of concentration of IA on the percentage of add-on.....	57
4.11 Effect of concentration of IA on the percentage of grafting ratio.....	57
4.12 Effect of concentration of IA on water absorption.....	58
4.13 Effect of starch-to-monomer ratio on the percentage of free polymers.....	60

4.14 Effect of starch-to-monomer on the percentage of grafting efficiency.....	60
4.15 Effect of starch-to-monomer ratio on the percentage of add-on.....	61
4.16 Effect of starch-to-monomer ratio on the percentage of grafting ratio.....	61
4.17 Effect of starch-to-monomer ratio on water absorption.....	62
4.18 Effect of APS concentration (%) on the percentage of free polymers.....	66
4.19 Effect of APS concentration (%) on the percentage of grafting efficiency.....	66
4.20 Effect of APS concentration (%) on the percentage of add-on.....	67
4.21 Effect of APS concentration (%) on the percentage of grafting ratio.....	67
4.22 Effect of APS concentration (%) on water absorption.....	68
4.23 Effect of N-MBA concentration (%) on the percentage of free polymers.....	70
4.24 Effect of N-MBA concentration (%) on the percentage of.....	71
grafting efficiency	
4.25 Effect of N-MBA concentration (%) on the percentage of add-on.....	71
4.26 Effect of N-MBA concentration (%) on the percentage of grafting ratio.....	72
4.27 Effect of N-MBA concentration (%) on water absorption	72
4.28 Effect of reaction temperature on percentage free polymers.....	74
4.29 Effect of reaction temperature on the percentage of grafting efficiency.....	74
4.30 Effect of reaction temperature on the percentage of add-on.....	75
4.31 Effect of reaction temperature on the percentage of grafting ratio.....	75
4.32 Effect of reaction temperature on water absorption.....	76
4.33 Effect of agitation rate on the percentage of free polymers.....	78
4.34 Effect of agitation rate on the percentage of grafting efficiency.....	79
4.35 Effect of agitation rate on the percentage of add-on.....	79
4.36 Effect of agitation rate on the percentage of grafting ratio.....	80
4.37 Effect of agitation rate on water absorption.....	80

4.38 Effect of pH on water absorption of the graft copolymer.....	84
4.39 SEM photographs of the starch-g-poly[(acrylamide-co-(itaconic acid)).....	86
(a) at AM-to-IA ratio of 90:10 (WA = 379±10 g g ⁻¹)	
(b) at AM-to-IA ratio of 94:6 (WA = 249±1 g g ⁻¹)	
4.40 SEM photographs of the starch-g-poly[(acrylamide-co-(itaconic acid)).....	87
(a) at low magnification (b) at high magnification (WA = 115±0 g g ⁻¹)	
4.41 SEM photographs of the starch-g-polyacrylamide.....	88
(a) at low magnification (b) at high magnification (WA = 39±1 g g ⁻¹).	
4.42 Thermogram of starch-g-poly[(acrylamide-co-(itaconic acid)).....	90
4.43 Thermogram of starch-g-poly[(acrylamide-co-(itaconic acid)).....	90
after acid hydrolysis	
4.44 Thermogram of starch-g-poly[(acrylamide-co-(itaconic acid)).....	91
at different AM-to-IA ratio (a) AM:IA 90:10, and (b) AM:IA 98:2	
4.45 Standard curve pure α-amylase activity on glucose solution at pH 7.....	96
4.46 Effect of α-amylase concentration on the amount of reducing sugar.....	98
4.47 Effect of time on the degradation of starch-g-poly[acrylamide-co-.....	100
(itaconic acid)] at starch-to-monomer ratio = 1:1 and AM:IA = 90:10.	
4.48 Effect of mole percent of acrylamide-to-itaconic acid ratio	101
on degradation	
4.49 Effect of starch-to-monomer ratio on degradation.....	102
4.50 SEM photograph of the cassava starch.....	103
4.51 SEM photographs of starch-g-poly[acrylamide-co-(itaconic acid)).....	104
incubated for 1 day in phosphate buffer (pH 7.0) containing	
α-amylase at different concentrations : (a) control, (b) 2040 U cm ⁻³ ,	
and (c) 10200 U cm ⁻³ .	

4.52 SEM photographs of starch-g-poly[acrylamide-co-(itaconic acid)]105

was incubated in phosphate buffer (pH 7.0), containing

α -amylase at 20400 U cm⁻³ for: (a) undegraded, (b) 2 days,

(c) 5 days (low magnification), and (d) 5 days (high magnification)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ABBREVIATIONS

SAPs	Superabsorbent Polymers
IA	Itaconic acid
AM	Acrylamide
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
SEM	Scanning Electron Microscopy
TGA	Thermal Gravimetric Analysis
g g ⁻¹	gram per gram
% w v ⁻¹	percent weight per volume
°C	degrees Celsius
dm ³	cubic decimeter
rpm	round per minute
h	hour

g	gram
wt	weight
mol dm^{-3}	mole per cubic decimeter
M	Molarity
%T	percentage transmittance
kGy	kilogray
\bar{M}_n	the average molecular weight of the polymer before crosslinking
\bar{M}_c	the average molecular weight between crosslinking
χ_1	the Flory-Huggins interaction parameter between solvent and polymer
i	the ionic strength
V_o	the volume of the unswollen network

k_d	the rate constant for initiator decomposition
k_p	the rate constant for the propagation step
k_{tc}	the rate constant for the termination step by combination
k_{td}	the rate constant for the termination step by disproportionation
N-MBA	<i>N,N'</i> -methylenebisarylamide
LF127	triblock copolymer of polyoxyethylene/ polyoxypropylene/polyethylene
APS	ammonium persulfate
TMEDA	<i>N,N,N',N'</i> -tetramethylethylenediamine
DNS	3,5-dinitrosalicylic acid
U	activity unit
Eur. Polym. J.	European Polymer Journal

J. Appl. Polym. Sci	Journal of Applied Polymer Science
Anal. Chem.	Analytical Chemistry
Radiat. Phys. Chem.	Radiation Physics and Chemistry
Polym. Degrad. Stab.	Polymer Degradation and Stability
Inter. J. Pharm.	International Journal of Pharmaceutics
Eur. J. Pharm. Biopharm.	European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย