

กราฟต์โคพอลิเมอไรเซชันของแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซ์-อะคริลาไมด์/
กรดอะคริลิกโดยการฉายรังสีแกมมา

นางสาววรารักษ์ ชมศักดิ์สกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

หลักสูตรปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-332-801-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**GRAFT COPOLYMERIZATION OF HYDROLYZED CASSAVA STARCH-
ACRYLAMIDE/ACRYLIC ACID BY GAMMA IRRADIATION**

MISS WARARUK CHOMSAKSAKUL

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

Program of Petrochemistry and Polymer Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-332-801-7

Thesis title GRAFT COPOLYMERIZATION OF HYDROLYZED
CASSAVA STARCH-ACRYLAMIDE/ACRYLIC ACID
BY GAMMA IRRADIATION

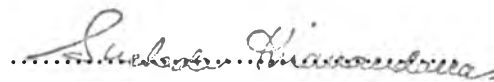
By Miss Wararuk Chomsaksakul

Department Petrochemistry and Polymer Science


Thesis Advisor Associate Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.


Thesis Co-advisor Mr. Manit Sonsuk, M.S.

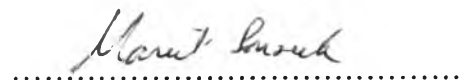
Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial
Fulfillment of the Requirements for Master's Degree

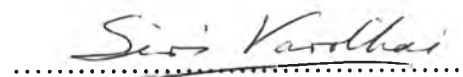
..... Dean of Graduate School
(Associate Professor Suchada Kiranandana, Ph.D.)


Thesis Committee

..... Chairman
(Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D.)

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

..... Thesis Co-advisor
(Mr. Manit Sonsuk, M.S.)

..... Member
(Associate Professor Siri Varothai, Ph.D.)

..... Member
(Mr. Manoon Aramrattana, Ph.D.)

วารักษ์ ชมศักดิ์สกุล : กราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของแป้งมันสำปะหลังไฮโดรไลซ์-อะคริลาไมด์/
กรดอะคริลิกโดยการฉายรังสีแกมมา อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. สุดา เกียรติกิจรุ่งศ์,
อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : นายมานิตย์ ช้อนสุข, 122 หน้า. ISBN 974-332-801-7.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันของอะคริลาไมด์ และ/หรือกรดอะคริลิก บนแป้งมันสำปะหลัง โดยริเริ่มปฏิกิริยาด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาพร้อมกัน ศึกษาผลของตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณรังสี ปริมาณอัตราการเปล่งรังสี อัตราส่วนของอะคริลาไมด์ต่อกรดอะคริลิก และการเติมสารเติมแต่งต่าง ๆ เช่น กรดไนตริก และกรดมาเลอิก เป็นต้น ที่มีต่อปฏิกิริยาการเกิดกราฟต์ ผลพลอยได้จากปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชันคือ ไฮโมพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์ทั้งสองชนิด และโคพอลิเมอร์อิสระของมอนอเมอร์ทั้งสอง เมื่อผ่านกระบวนการแยกเอาผลพลอยได้จากปฏิกิริยาออก โดยการสกัดด้วยน้ำหรือเมทานอล จึงได้กราฟต์โคพอลิเมอร์ นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้มาทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อเปลี่ยนหมู่คาร์บอซิลิกแอซิดของกรดอะคริลิกให้เป็นหมู่คาร์บอซิเลต หาคิวแปรการกราฟต์ที่เป็นตัวบ่งชี้ระดับการเกิดปฏิกิริยากราฟต์โคพอลิเมอร์เซชัน อันได้แก่ ร้อยละการเกิดไฮโมพอลิเมอร์ ร้อยละของประสิทธิภาพการเกิดกราฟต์โคพอลิเมอร์ และร้อยละของอัตราส่วนกราฟต์โคพอลิเมอร์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซึมน้ำ

กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จากภาวะที่อัตราส่วนของมอนอเมอร์ต่อแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 2:1 ปริมาณรังสี 6.0 กิโลเกรย์ ปริมาณอัตราการเปล่งรังสี 2.24 กิโลเกรย์ต่อชั่วโมง และอัตราส่วนของอะคริลาไมด์ต่อกรดอะคริลิกเท่ากับ 70:30 เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันแล้วมีความสามารถในการดูดซึมน้ำกลั่นสูงถึง 1142 กรัมต่อกรัมของพอลิเมอร์แห้ง และเมื่อทดสอบการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์นี้ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ และสารละลายบัฟเฟอร์ พบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายเกลือ และค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายบัฟเฟอร์ นอกจากนี้ได้ตรวจสอบขั้นตอนต่าง ๆ ในการเกิดปฏิกิริยาโดยใช้ FTIR ศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยการวิเคราะห์ทางองค์ประกอบของธาตุโดยใช้วิธีวิเคราะห์ธาตุ และพิจารณาลักษณะพื้นผิวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบกราด

ภาควิชา
สาขาวิชา ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต วารักษ์ ชมศักดิ์สกุล
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปริกษา for indelible
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปริกษาพร้อม ๑๒๕-

3971588023 : MAJOR POLYMER SCIENCE

KEY WORD: GRAFT COPOLYMERIZATION / CASSAVA STARCH / ACRYLAMIDE / ACRYLIC ACID / GAMMA IRRADIATION

WARARUK CHOMSAKSAKUL : GRAFT COPOLYMERIZATION OF HYDROLYZED CASSAVA STARCH-ACRYLAMIDE/ACRYLIC ACID BY GAMMA IRRADIATION.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : MR. MANIT SONSUK, M.S. 122 pp. ISBN 974-332-801-7.

Graft copolymerizations of acrylamide and/or acrylic acid onto cassava starch by a simultaneous irradiation technique using gamma-rays as the initiator were studied via various parameters of importance: monomer-to-cassava starch ratio, total dose (kGy), dose rate (kGy hr⁻¹), acrylamide-to-acrylic acid ratio, and the addition of nitric acid and maleic acid as the additives. Homopolymers of acrylamide and acrylic acid and their free copolymer were the by-products of graft copolymerization, which were removed later by water or methanol extraction. The purified graft copolymer was subsequently saponified with a 5% aqueous solution of potassium hydroxide at room temperature to convert the carboxylic group of acrylic acid to a carboxylate group. Grafting parameters denoting the degree of grafting copolymerization were determined in terms of the percentage of homopolymer, grafting efficiency, add-on, and grafting ratio in relation to the water absorption.

The graft copolymer produced with monomer-to-cassava starch ratio 2:1, total dose 6.0 kGy, dose rate 2.24 kGy hr⁻¹, and acrylamide-to-acrylic acid ratio 70:30 gave the saponified copolymer having the highest water absorption in distilled water, as high as 1142 g g⁻¹ of its dry weight. The water absorption of this saponified graft copolymer in sodium chloride, magnesium chloride, calcium chloride, and buffer solutions was also measured. The water absorption depended largely on the type and concentration of salt solutions and pH of buffer solutions. FTIR was used to follow up the chemical changes of grafting and saponification, EA was used to investigate the optimum time for saponification by determining the elemental composition of the saponified products, and SEM was used to study the surface morphology.

ภาควิชา..... -

สาขาวิชา Petrochemistry and Polymer Science

ปีการศึกษา..... ๒๕๕๑

ลายมือชื่อนิสิต..... Wararuk Chomsaksakul

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Suda Kiatkamjornwong

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... Manit Sonsuk



ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express her sincere gratitude to her advisor, Associate Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D. and co-advisor, Mr. Manit Sonsuk, M.S., for their tireless assistance, suggestions of valuable points of the experiments and encouragement throughout this research. She is also thankful to Associate Professor Supawan Tantayanon, Ph.D., Associate Professor Siri Varothai, Ph.D., and Mr. Manoon Aramrattana, Ph.D. for serving as chairman and on members of this thesis committee, respectively.

Appreciation is also expressed to the Graduate School of Chulalongkorn University and Japanese Government through International Atomic Energy Agency's Program on Radiation Processing on Indigenous Natural Products for the financial support. Many thanks are also extended to Thai Wah Co.,Ltd., for kind support of cassava starch; to Siam Resin Co.,Ltd., for kind support of acrylamide and acrylic acid; to the Office of Atomic Energy for Peace and the Department of Photographic Science and Printing Technology of Faculty of Science, Chulalongkorn University, for providing the facilities in laboratory, equipment as well as some chemicals; to the National Metal and Materials Technology Center, for FTIR utilities; and to Mrs. Jindarom Chvajarernpun for her assistance.

Finally, she would like to extend her appreciation to her family, and friends whose names are not mentioned here for their encouragement and love throughout the long year research for the Master's degree.

CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (in Thai).....	iv
ABSTRACT (in English).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
CONTENTS.....	vii
LIST OF TABLES.....	xiii
LIST OF FIGURES.....	xv
ABBREVIATIONS.....	xix
CHAPTER 1: INTRODUCTION.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Objectives.....	3
1.3 Expected Benefits Obtainable for Future Development of the Research.....	3
1.4 Scope of the Investigation.....	4
CHAPTER 2: THEORY and LITERATURE REVIEW.....	6
2.1 Superabsorbent Polymers (SAPs).....	6
2.1.1 Classification of Superabsorbent Polymers.....	6
2.1.2 Properties.....	7
2.1.2.1 Water Absorption Mechanism in Superabsorbent Polymers.....	8
2.1.2.2 Water Absorption Capacity and Absorbing Rate.....	11
2.1.3 Application.....	13

CONTENTS (continued)

	PAGE
2.2 Starch.....	15
2.2.1 Granular Nature and Cooking Properties.....	15
2.2.2 Molecular Components.....	16
2.3 Free-Radical Graft Copolymerization by Radiation Methods.....	19
2.3.1 Radiation-Induced Synthesis.....	19
2.3.2 The Different Methods of Radiation Grafting.....	20
2.3.3 Kinetic Features of Radiation Grafting.....	24
2.4 Terminology and Definition.....	28
2.5 Literature Survey.....	29
CHAPTER 3: EXPERIMENTAL.....	38
3.1 Chemicals, Equipment, Glassware and Apparatus.....	38
3.1.1 Chemicals.....	38
3.1.2 Equipment and Glassware.....	38
3.1.3 Apparatus.....	39
3.2 Procedure.....	40
3.2.1 Gelatinization of Cassava Starch.....	40
3.2.2 Graft Copolymerization of Acrylamide and Acrylic Acid onto Cassava Starch by Simultaneous Irradiation.....	40
3.2.2.1 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Graft Copolymerization.....	40
3.2.2.2 Effect of Total Dose (kGy) and Dose Rate (kGy hr ⁻¹) on Graft Copolymerization.....	41

CONTENTS (continued)

	PAGE
3.2.2.3 Effect of Acid Additives on Graft Copolymerization.....	42
3.2.2.4 Effect of Acrylamide-to-Acrylic Acid Ratio on Graft Copolymerization.....	42
3.2.3 Removal of Homopolymer and Free Copolymer.....	43
3.2.4 Saponification of the Graft Copolymer.....	43
3.2.4.1 Determination of Optimum Time for Saponification of Acrylamide and Acrylic Acid Moieties.....	44
3.2.5 Characterization of Copolymer.....	44
3.2.5.1 Existence of Functionalities by IR Spectroscopy.....	44
3.2.5.2 Determination of Percentage Conversion.....	44
3.2.5.3 Determination of Percentage Homopolymer.....	45
3.2.5.4 Determination of Percentage Add-on.....	45
3.2.5.5 Determination of Percentage Grafting Ratio.....	46
3.2.5.6 Determination of Percentage Grafting Efficiency.....	46
3.2.5.7 Determination of Surface Morphology of the Copolymers.....	46
3.2.6 Water Absorption/Retention Capacities of the Copolymer.....	46

CONTENTS (continued)

	PAGE
3.2.6.1 In Distilled Water.....	46
3.2.6.2 In Sodium Chloride, Magnesium Chloride, and Calcium Chloride Solutions.....	47
3.2.6.3 In Buffer Solutions.....	47
CHAPTER 4: RESULTS and DISCUSSION.....	49
4.1 Characterization of the Functional Groups of the Copolymer by FTIR.....	49
4.2 Effect of Saponification Time on Acrylamide Moiety.....	58
4.3 Graft Copolymerization of Acrylamide and Acrylic Acid onto Cassava Starch by Simultaneous Irradiation.....	59
4.3.1 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Graft Copolymerization.....	59
4.3.4.1 Relationship between Monomer-to-Starch Ratio and Percentage Conversion.....	59
4.3.1.2 Relationship between Monomer-to-Starch Ratio and Percentage Homopolymer.....	60
4.3.1.3 Relationship between Monomer-to-Starch Ratio and Grafting Efficiency, Percentage Add-on, and Grafting Ratio.....	62
4.3.1.4 Relationship between Monomer-to-Starch Ratio and Water Absorption.....	62

CONTENTS (continued)

	PAGE
4.3.2 Effect of Total Dose and Dose Rate on	
Graft Copolymerization.....	65
4.3.2.1 Relationship between Total Dose,	
Dose Rate, and Percentage Conversion.....	65
4.3.2.2 Relationship between Total Dose,	
Dose Rate, and Percentage Homopolymer.....	69
4.3.2.3 Relationship between Total Dose,	
Dose Rate, and Grafting Efficiency.....	69
4.3.2.4 Relationship between Total Dose,	
Dose Rate, Percentage Add-on, and	
Grafting Ratio.....	72
4.3.2.5 Relationship between Total Dose,	
Dose Rate, and Water Absorption.....	72
4.3.3 Effect of Acid Additives on Graft Copolymerization.....	76
4.3.3.1 Effect of Acid Additives on	
Graft Copolymerization of Acrylamide	
onto Cassava Starch.....	76
4.3.3.2 Effect of Acid Additive on	
Graft Copolymerization of Acrylic Acid	
onto Cassava Starch.....	79

CONTENTS (continued)

	PAGE
4.3.3.3 Effect of Acid Additives on Graft Copolymerization of Acrylamide and Acrylic Acid onto Cassava Starch.....	82
4.3.4 Effect of Acrylamide-to-Acrylic Acid Ratio on Graft Copolymerization.....	86
4.3.5 Effect of Salt Solution on Water Absorption.....	91
4.3.6 Effect of pH on Water Absorption.....	93
4.4 Surface Morphology of the Copolymers.....	94
CHAPTER 5: CONCLUSION and SUGGESTION.....	102
5.1 Conclusion.....	102
5.2 Suggestion and Future Work.....	106
REFERENCES.....	108
APPENDICES	
APPENDIX A: DETERMINATION OF CHN IN COPOLYMER BY ELEMENTAL ANALYSIS.....	
	115
APPENDIX B: INTERACTION OF RADIATION WITH WATER.....	
	117
VITA.....	122

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Four Classifications of Superabsorbent Polymers.....	6
2.2 Measurement of the Water Absorbing Capacity.....	12
2.3 Possible Applications of Superabsorbent Polymers.....	14
3.1 Chemicals.....	39
3.2 Various Quantities of Total Dose (kGy) and Dose Rate (kGy hr ⁻¹) for Graft Copolymeriation of Acrylamide and Acrylic Acid onto Cassava Starch.....	41
4.1 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch and Starch-g-polyacrylamide Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	52
4.2 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch and Starch-g-poly(acrylic acid) Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	54
4.3 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch and Starch-g-poly(acrylamide-co-acrylic acid) Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	56
4.4 Compositions Obtained by Elemental Analysis.....	58
4.5 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Graft Copolymerization.....	60
4.6 Effect of Total Dose and Dose Rate on Graft Copolymerization of Acrylamide onto Cassava Starch.....	66
4.7 Effect of Total Dose and Dose Rate on Graft Copolymerization of Acrylic Acid onto Cassava Starch.....	67

LIST OF TABLES (continued)

TABLE	PAGE
4.8 Effect of Acid Additives on Graft Copolymerization of Acrylamide onto Cassava Starch.....	76
4.9 Effect of Acid Additive on Graft Copolymerization of Acrylic Acid onto Cassava Starch.....	79
4.10 Effect of Acid Additives on Graft Copolymerization of Acrylamide and Acrylic Acid onto Cassava Starch.....	82
4.11 Effect of Acrylamide-to-Acrylic Acid Ratio on Graft Copolymerization.....	87
4.12 Effect of Salt Solution on Water Absorption.....	92
4.13 Effect of pH on Water Absorption.....	93
A-1 Compositions of Starch-g-polyacrylamide after Saponification.....	115
B-1 Reactions of Free Radicals in Irradiated Water.....	120

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
2.1 Water Absorption in Ionic Polymer Network.....	8
2.2 Mechanisms of Swelling of Superabsorbent Polymers.....	9
2.3 Chemical Structure of Amylose Chain.....	17
2.4 Formation of the Amylose Helix as a Blue Charge-transfer Complex with Molecular Iodine.....	17
2.5 Branched Structure of Amylopectin.....	18
3.1 Overall Schematic Experimental Process.....	48
4.1 Infrared Spectra of Cassava Starch and Starch-g-polyacrylamide Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	51
4.2 Infrared Spectra of Cassava Starch and Starch-g-poly(acrylic acid) Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	53
4.3 Infrared Spectra of Cassava Starch and Starch-g-poly(acrylamide- <i>co</i> -acrylic acid) Before Extraction, After Extraction, and After Saponification.....	55
4.4 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Percentage Conversion.....	61
4.5 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Percentage Homopolymer.....	61
4.6 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Percentage Grafting Efficiency.....	62
4.7 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Percentage Add-on.....	63
4.8 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Percentage Grafting Ratio.....	63
4.9 Effect of Monomer-to-Starch Ratio on Water Absorption.....	64

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.10 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Conversion of Graft Copolymerization of AM onto Starch.....	68
4.11 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Conversion of Graft Copolymerization of AA onto Starch.....	68
4.12 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Homopolymer of Graft Copolymerization of AM onto Starch.....	70
4.13 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Homopolymer of Graft Copolymerization of AA onto Starch.....	70
4.14 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Grafting Efficiency of Graft Copolymerization of AM onto Starch.....	71
4.15 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Grafting Efficiency of Graft Copolymerization of AA onto Starch.....	71
4.16 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Add-on of Graft Copolymerization of AM onto Starch.....	73
4.17 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Add-on of Graft Copolymerization of AA onto Starch.....	73
4.18 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Grafting Ratio of Graft Copolymerization of AM onto Starch.....	74
4.19 Effect of Total Dose and Dose Rate on Percentage Grafting Ratio of Graft Copolymerization of AA onto Starch.....	74

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.20 Effect of Total Dose and Dose Rate on Water Absorption of Saponified Starch-g-polyacrylamide.....	75
4.21 Effect of Total Dose and Dose Rate on Water Absorption of Saponified Starch-g-poly(acrylic acid).....	75
4.22 Infrared Spectra of the Starch-g-poly(acrylic acid) in the Presence of Nitric Acid as an Additive Before and After Extraction.....	81
4.23 Infrared Spectrum of the Nitrocellulose (Cellulose Nitrate).....	81
4.24 Effect of Nitric Acid on Percentage Conversion.....	83
4.25 Effect of Nitric Acid on Percentage Homopolymer.....	84
4.26 Effect of Nitric Acid on Percentage Grafting Efficiency.....	84
4.27 Effect of Nitric Acid on Percentage Add-on.....	85
4.28 Effect of Nitric Acid on Percentage Grafting Ratio.....	85
4.29 Effect of Nitric Acid on Water Absorption.....	86
4.30 Effect of AM-to-AA Ratio on Percentage Conversion.....	88
4.31 Effect of AM-to-AA Ratio on Percentage Homopolymer.....	89
4.32 Effect of AM-to-AA Ratio on Percentage Grafting Efficiency.....	89
4.33 Effect of AM-to-AA Ratio on Percentage Add-on.....	90
4.34 Effect of AM-to-AA Ratio on Percentage Grafting ratio.....	90
4.35 Effect of AM-to-AA Ratio on Water Absorption.....	91
4.36 Effect of pH on Water Absorption of Copolymer.....	94
4.37 SEM Photographs of the Saponified Starch-g-poly(acrylamide-co-acrylic acid).....	96

LIST OF FIGURES (continued)

FIGURE	PAGE
4.38 SEM Photographs of the Saponified Starch- <i>g</i> -(polyacrylamide- <i>co</i> -acrylic acid), with 0.01 <i>M</i> HNO ₃ as an Additive.....	97
4.39 SEM Photographs Showing the Porous Structure of the Saponified Starch- <i>g</i> -poly(acrylic acid).....	98
4.40 SEM Photographs Showing the Non-porous Structure of the Saponified Starch- <i>g</i> -poly(acrylic acid).....	99
4.41 SEM Photographs of the Saponified Starch- <i>g</i> -polyacrylamide.....	100
4.42 SEM Photograph of the Grafted Poly(acrylamide- <i>co</i> -acrylic acid).....	101
4.51 SEM Photograph of the Grafted Polyacrylamide.....	101

LIST OF ABBREVIATIONS

kGy	kilogray
kGy hr ⁻¹	kilogray per hour
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectrometer/scopy
EA	Elemental Analyzer/sis
SEM	Scanning Electron Microscope/scopy
SAP	superabsorbent polymer
g	gram
DP	degree of polymerization
\overline{M}_n	number-average molecular weight
\overline{M}_w	weight-average molecular weight
Co ⁶⁰	Cobalt-60
AM	acrylamide monomer or unit
AA	acrylic acid monomer or unit
°C	degrees Celcius
<i>M</i>	molarity
%w v ⁻¹	percentage weight by volume
kV	kilovolt
rpm	revolution per minute
γ	gamma rays
cm ⁻¹	wave number
mole-ion dm ⁻³	mole-ion per cubic decimeter
J. Polym. Sci. C.	Journal of Polymer Science, Part C

J. Appl. Polym. Sci.	Journal of Applied Polymer Science
J. Polym. Sci., Polym. Lett. Ed.	Journal of Polymer Science, Polymer Letters Edition
Radiat. Phys. Chem.	Radiation of Physics and Chemistry