

การเพิ่มสมรรถภาพของการกราฟต์และการดูดซึมน้ำของกราฟต์โคโพลิเมอร์
ของแป้งมันสำปะหลังโดยรังสีแกมมา



นางสาวนิสกา มีชัย

ศูนย์วิทยพัทธยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

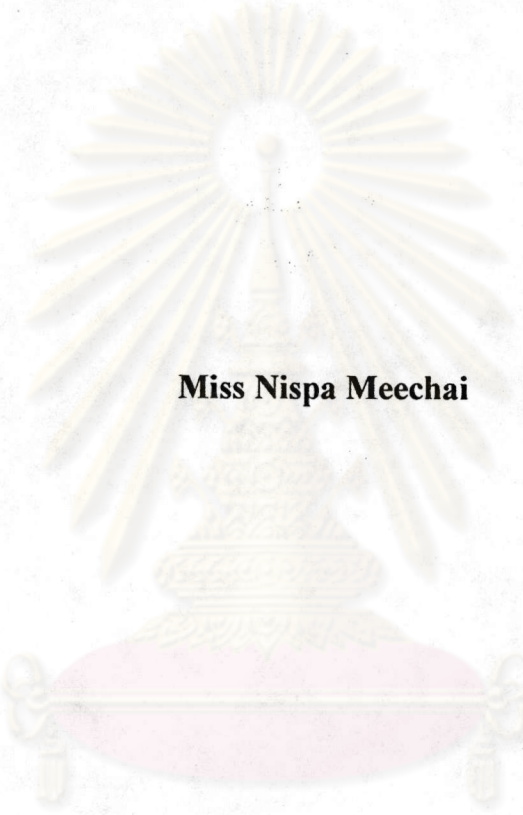
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-095-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I/6457201

**Towards Enhancement of Grafting Performance and Water Absorption
of Cassava Starch Graft Copolymer by Gamma Radiation**



Miss Nispa Meechai

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
Program of Polymer Science
Graduate School
Chulalongkorn University**

1995

ISBN 974-632-095-5

Copyright of the Graduate School, Chulalongkorn University

Thesis Title Towards Enhancement of Grafting Performance and Water
Absorption of Cassava Starch Graft Copolymer by
Gamma Radiation.

By Miss Nispa Meechai

Program Polymer Science

Thesis Advisor Associate Professor Suda Kiatkamjornwong, Ph.D.



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

Santi Thoongsuwan

..... Dean of Graduate School
(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis Committee

Pattarapan Prasassarakich

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

Suda Kiatkamjornwong

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

W. Warapong

..... Member
(Miss Warapong Wanitsuksombut, M.S.)

Manit Sonsuk

..... Member
(Mr. Mani Sonsuk, M.S.)

Chairat Wiwatwarrapan

..... Member
(Mr. Chairat Wiwatwarrapan, M.S.)

นิสกา มีชัย : การเพิ่มสมรรถภาพของการกราฟต์และการดูดซึมน้ำของกราฟต์โคโพลิเมอร์
ของแป้งมันสำปะหลังโดยรังสีแกมมา (TOWARDS ENHANCEMENT OF GRAFTING
PERFORMANCE AND WATER ABSORPTION OF CASSAVA STARCH GRAFT
COPOLYMER BY GAMMA RADIATION) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุภา เกียรติกำจรวงศ์
125 หน้า. ISBN 974-632-095-5



การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการปรับปรุงปฏิกิริยากราฟต์โคโพลิเมอร์ไซเซชัน ด้วยการฉายรังสีแกมมา
ของโมโนเมอร์อะครีโลไนทริลบนแป้งมันสำปะหลังที่มีสภาพเป็นเจล ศึกษาผลของแผ่นอะลูมิเนียม แผ่น
ทองแดง แผ่นตะกั่ว และแผ่นสังกะสีที่ใช้หุ้มห้องผนังด้านในของภาชนะฉายรังสี อิทธิพลของกรดไนตริก
ตัวยับยั้งปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไซเซชันเมทิลเอทิลไฮโดรควิโนน และโมโนเมอร์ร่วมสไตรีนที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยา
การกราฟต์ ผลพลอยได้จากปฏิกิริยาโคโพลิเมอร์ไซเซชันคือไฮโมโพลิเมอร์ของโพลิอะครีโลไนทริลซึ่ง
สามารถแยกจากแป้งที่กราฟต์แล้วโดยการสกัดด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์ ทำให้กราฟต์โคโพลิเมอร์ที่ได้มีสมบัติ
ในการดูดซึมน้ำ โดยทำปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชันด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 8.5
ที่อุณหภูมิ 100°ซ. ซึ่งเป็นผลให้หมู่ไนทริลหายไปและมีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิเลตและคาร์บอกซาไมด์เกิดขึ้น
ตรวจสอบขั้นตอนต่างๆ ในการเกิดปฏิกิริยาโดยการวิเคราะห์ทางอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี หาตัวแปรการ
กราฟต์ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเหมาะสมของปริมาณรังสี และปริมาณอะครีโลไนทริลที่เหมาะสมที่อัตราการเปล่ง
รังสี 0.25 กิโลเกรย์ต่อนาที

สามารถเพิ่มปฏิกิริยาการกราฟต์และการดูดซึมน้ำได้ โดยการใช้แผ่นโลหะภายในผนังภาชนะ
ที่ใช้ในการฉายรังสี พบว่าแผ่นอะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพดีกว่าแผ่นโลหะชนิดอื่น นอกจากนี้พบว่าการเติม
กรดไนตริกช่วยเพิ่มปฏิกิริยาการกราฟต์และการดูดซึมน้ำ พบว่าเมทิลเอทิลไฮโดรควิโนนเพิ่มปฏิกิริยา
ไฮโมโพลิเมอร์ไซเซชันและลดกราฟต์โคโพลิเมอร์ไซเซชัน การใช้โมโนเมอร์ร่วมสไตรีนเป็นอุปสรรคต่อปฏิกิริยา
การกราฟต์ของอะครีโลไนทริลบนสายโซ่แป้ง ปรับปรุงความสามารถในการดูดซึมน้ำของกราฟต์โคโพลิเมอร์
โดยการทำให้ผลผลิตแห้งด้วยวิธีการลดความดันที่อุณหภูมิต่ำ ปรับปรุงอัตราการดูดซึมน้ำด้วยการเคลือบ
อะลูมิเนียมไตรคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตบนผิวของกราฟต์โคโพลิเมอร์ พบว่าอัตราการดูดซึมน้ำเร็วขึ้นเมื่อปริมาณ
เกลืออะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นแต่ทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง ทดสอบการดูดซึมน้ำในน้ำกลั่น ปัสสาวะ
เทียม และสารละลายเกลือ พบว่าความสามารถในการดูดซึมน้ำในสารละลายเกลือและปัสสาวะเทียมลดลงอย่าง
มากเมื่อเพิ่มปริมาณของแคตไอออนในเกลือ และชนิดของแคตไอออน ความสามารถในการอุ้มน้ำของสาร
ดูดน้ำในทรายมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงและเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารดูดน้ำมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้อธิบายอิทธิพล
ของตัวแปรดังกล่าวต่อการเกิดปฏิกิริยาและการดูดซึมน้ำ

ภาควิชา สาขาวิชาปิโตรเคมี-โพลิเมอร์.....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์.....
ปีการศึกษา 2537.....

ลายมือชื่อนิสิต พิงม สุภา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุภา เกียรติกำจรวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



C585235 : MAJOR POLYMER SCIENCE

KEY WORD: GRAFT COPOLYMERIZATION / ACRYLONITRILE / GAMMA RAY / CASSAVA STARCH

NISPA MEECHAI: TOWARDS ENHANCEMENT OF GRAFTING PERFORMANCE AND WATER ABSORPTION OF CASSAVA STARCH GRAFT COPOLYMER BY GAMMA RADIATION. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUDA KIATKAMJORNWONG, Ph.D. 125 pp. ISBN 974-632-095-5

The enhancement of gamma radiation grafting of acrylonitrile onto gelatinized cassava starch was investigated via various parameters of importance: the addition of metal sheet wrapping the inner wall of the irradiated vessel with the aluminium foil, copper sheet, lead and zinc plate, respectively, nitric acid, methyl ether hydroquinone inhibitor, and styrene comonomer. A homopolymer of polyacrylonitrile (PAN) was a by-product of graft copolymerization which was latter removed by extraction with dimethylformamide. The purified grafted copolymer was subsequently saponified with an 8.5% aqueous solution of potassium hydroxide at 100°C to convert the nitrile groups into a mixture of the acrylamide and carboxylate groups, which were responsible for water absorbency. Infrared spectrometer was used to follow up the chemical changes of grafting and saponification. The saponified starch-g-PAN (HSPAN) was then characterized in terms of grafting parameters for a guideline to judge an optimum total dose (kGy) and the quantity of acrylonitrile (ml) at the fixed dose rate of 0.25 kGy/min.

A thin aluminium foil for covering the inner wall of the reaction vessel was found to be far more effective than any other metal sheet in enhancements of the grafting reaction and the water absorption. The presence of nitric acid in medium increases the grafting yield and the water absorption. Methyl ether hydroquinone inhibitor was evaluated to increase homopolymerization and decrease graft reaction. The styrene comonomer hampered the grafting of acrylonitrile onto starch backbone. The water absorption capacity was improved by using a freeze dryer for drying HSPAN. The treatment of the HSPAN with aluminium trichloride hexahydrate was found to enhance the degree of wicking but decrease water absorbency. Water absorptions of the HSPAN in deionized distilled water, simulated urine and saline solutions was carried out. Water absorption capacity in saline solutions and simulated urine decreased dramatically with increasing the salt concentrations and the type of cations. Water retention in sand by mixing it with the HSPAN showed a linear relationship of water increase with increasing amount of absorbent added. Discussions of the effects of the parameters on the reaction and water absorption were also given in this research.

ภาควิชา สหสาขาปิโตรเคมี-โพลีเมอร์.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์โพลีเมอร์.....

ปีการศึกษา 2537.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *Nispa Meechai*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Suda Kiatkamjornwong*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express deep appreciation to my advisor, Assoc. Prof. Dr. Suda Kiatkamjornwong who willingly spent her precious time giving me some advice and guidance with my studies and thesis. In addition, I wish to show my gratitude to the following people working at the Office of Atomic Energy for Peace: Mr. Manit Sonsuk, Miss Warapon Wanitsuksombut, Miss Siriratana Biramontri, Miss Piriyaathorn Suwanmala, including Assoc. Prof. Dr. Pattarapan Prasassarakich and Mr. Chairat Wiwatwarrapan, my teachers, for their kind assistance. Appreciations are extended to the Department of Photographic Science and Printing Technology and OAEP for providing me with the facilities in laboratory, equipments as well as some chemicals and also Graduate School of Chulalongkorn University for the research financial aids.

Finally, I wish to express my gratitude to my parents and my friends for their love, concern and encouragement throughout my studies for Master's Degree in Polymer Science.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



CONTENTS

	PAGE
ABSTRACT (IN THAI).....	IV
ABSTRACT (IN ENGLISH).....	V
ACKNOWLEDGEMENT.....	VI
LIST OF TABLES.....	XII
LIST OF FIGURES.....	XIV
NOMENCLATURE.....	XVII
CHAPTER	
I INTRODUCTION.....	1
Introduction.....	1
Objectives.....	5
Preparing Scheme.....	6
Scopes of the Investigation.....	7
II THEORY and LITERATURE REVIEW.....	9
Theoretical Background.....	9
Gamma Rays.....	9
Interaction of Radiation with Water.....	10
Starch.....	19
Free-Radical Graft Copolymerization of Starch by Radiation	
Methods.....	23
Terminology and Definition.....	30
Percent Add-on.....	30
Grafting Efficiency.....	31
Percent Conversion.....	31
Grafting Ratio.....	31

CHAPTER	PAGE
Grafting Frequency.....	34
Literature Survey.....	32
III EXPERIMENTAL.....	38
Chemicals, Equipment and Glasswares.....	38
Procedure.....	40
Gelatinization of Cassava Starch.....	40
Grafting of Acrylonitrile onto Cassava Starch by Simultaneous irradiation.....	40
Homopolymer Extraction by DMF.....	42
Copolymer Characterization.....	43
Saponification of Starch-g-PAN.....	43
Determination of Percent Add-on.....	43
Determination of Percent Conversion.....	43
Determination of Homopolymer Formation.....	44
Determination of Grafting Efficiency.....	44
Determination of the Viscosity Average Molecular Weight.....	44
Determination of Grafting Frequency.....	44
Determination of Grafting Ratio.....	44
Water Absorption/Retention Capacity of the Copolymer.....	45
In deionized Distilled Water.....	45
In Sodium Chloride and Magnesium Chloride Solutions.....	45
In Ammonium Chloride, Dibasic ammonium Phosphate, Potassium Chloride, tri-Potassium Phosphate tri-hydrate Solutions and Simulated Urine.....	45
In Sand Alone and Sand with HSPAN.....	45
Water Absorption Rate of the Copolymer.....	46

CHAPTER	PAGE
IV RESULTS and DISCUSSION.....	47
Infrared Analyses.....	47
Grafting of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	53
1. Effect of Total Dose on Graft Copolymerization.....	53
1.1 Relationship between Total Dose and Percent Homopolymer.....	54
1.2 Relationship between Total Dose and Percent Grafting Efficiency.....	55
1.3 Relationship between Total Dose and Percent Conversion.....	56
1.4 Relationship between Total Dose and Percent Add-on.....	56
1.5 Relationship between Total Dose and Grafting Ratio.....	59
1.6 Relationship between Total Dose and Viscosity Average Molecular Weight and Grafting Frequency.....	60
1.7 Relationship between Total Dose and Water Absorption.....	61
2. Effect of Metal Sheet on Reduction of Homopolymer.....	63
2.1 Relationship between Grafting Parameters and Metal Sheet.....	64
2.2 Relationship between Viscosity Average Molecular Weight, Grafting Frequency and Metal Sheet.....	66
2.3 Relationship between Water Absorption and Metal Sheet.....	66
3. Effect of the Methyl Ether Hydroquinone (MEHQ) Inhibitor on Graft Copolymerization.....	68

CHAPTER	PAGE
3.1 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Percent Homopolymer.....	69
3.2 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Percent Grafting Efficiency.....	70
3.3 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Percent Conversion of the Monomer.....	70
3.4 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Percent Add-on	72
3.5 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Grafting Ratio.....	72
3.6 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Viscosity Average Molecular Weight and Grafting Frequency.....	74
3.7 Relationship between the MEHQ Inhibitor and Water Absorption.....	75
4. Effect of Nitric Acid on Graft Copolymerization.....	77
5. Effect of Comonomer on Graft Copolymerization.....	79
6. Effect of The Quantity of AN(ml) on Graft Copolymerization.....	80
6.1 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Percent Homopolymer.....	81
6.2 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Percent Grafting Efficiency.....	81
6.3 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Percent Conversion.....	83
6.4 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Percent Add-on.....	83
6.5 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Grafting Ratio.....	85

CHAPTER	PAGE
6.6 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Viscosity Average Molecular Weight and Grafting Frequency.....	86
6.7 Relationship between The Quantity of AN(ml) and Water Absorption.....	88
6.8 Effect of NaCl Solutions on Water Absorption.....	90
6.9 Effect of MgCl ₂ Solutions on Water Absorption.....	93
6.10 Effect of K ₃ PO ₄ .3H ₂ O, KCl, NH ₄ Cl, and (NH ₄) ₂ HPO ₄ Solutions on Water Absorption.....	96
6.11 Effect of Simulated Urine Solution on Water Absorption.....	98
6.12 Water Absorption in Sand Alone and Sand with Saponified Starch-g-Polyacrylonitrile.....	99
7. Modification of Saponified Starch-g-PAN with Aluminium with Aluminium Chloride on Water Absorption and Wicking Time: Dependence on Drying Method.....	100
V CONCLUSION and SUGGESTION.....	104
Conclusion.....	104
Suggestion and Future Work.....	109
REFERENCES.....	111
APPENDIX.....	117
VITA.....	125

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Reactions of Free Radicals in Irradiated Water.....	13
3.1 Chemicals.....	39
4.1 The Infrared Absorption of Functional Groups in Cassava Starch, the Copolymers after grafting, after extraction and after saponification.....	52
4.2 Effect of Total Dose (kgy) on the Grafting of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	54
4.3 Effect of Total Dose on Viscosity Average Molecular Weight and Grafting Frequency.....	60
4.4 Deionized Distilled Water Absorption as a Function of Total Dose....	61
4.5 Effect of Metal Sheets on the Grafting of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	64
4.6 Physical Properties of Aluminium, Copper, Lead and Zinc.....	65
4.7 Effect of Metal Sheets on Viscosity Average Molecular Weight and Grafting Frequency.....	66
4.8 Effect of Metal Sheets on Deionized Distilled Water Absorption.....	67
4.9 Effect of the MEHQ Inhibitor on Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	68
4.10 Effect of the MEHQ Inhibitor on Viscosity Average Molecular Weight (M_v) and Grafting Frequency.....	74
4.11 Effect of the MEHQ Inhibitor on Water Absorption in Deionized Distilled Water.....	75
4.12 Effect of Acid on Grafting of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	78
4.13 Effect of Acid on Viscosity Average Molecular Weight (M_v) and Grafting Frequency.....	78

TABLE	PAGE
4.14 Effect of Acid on Water Absorption in Deionized Distilled Water.....	79
4.15 Effect of Styrene on Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	79
4.16 Effect of Starch(g)/AN(ml) on Graft Copolymerization of Acrylonitrile onto Cassava Starch.....	81
4.17 Effect of Starch(g)/AN(ml) on Viscosity Average Molecular Weight (M_v) and Grafting Frequency.....	86
4.18 Effect of the Quantity of AN on Water Absorption in Deionized Distilled Water.....	89
4.19 Effect of NaCl Concentrations on Water Absorption.....	91
4.20 Effect of Different $MgCl_2$ Concentrations on Water Absorption.....	94
4.21 Effect of $K_3PO_4 \cdot 3H_2O$, KCl, NH_4Cl , and $(NH_4)_2HPO_4$ with Identical Concentration of 0.9% w/w on the Water Absorption of the Saponified Starch-g-Polyacrylonitrile.....	96
4.22 Effect of Simulated Urine on Water Absorption of the HSPAN.....	99
4.23 Water Retention on Sand Mixed with Different Concentration of Saponified Starch-g-Polyacrylonitrile.....	100
4.24 The Water Absorption and Wicking Time of HSPAN Depended on the Quantity of $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	102

LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
1.1 Preparation of saponified starch-g-polyacrylonitrile.....	6
2.1 Schematic diagram of the presumed distribution of primary events along the track of a fast electron.....	14
2.2 Variation with pH of primary yields in γ -irradiated water.....	17
2.3 Chemical structure of amylose chain.....	21
2.4 Branched structure of amylopectin.....	21
2.5 Structure of molecules in a cooked starch paste.....	23
4.1 Infrared spectrum of dried cassava starch.....	48
4.2 Infrared spectrum of the graft copolymer after Grafting.....	49
4.3 Infrared spectrum of the graft copolymer after DMF extraction.....	50
4.4 Infrared spectrum of the saponified graft copolymer.....	51
4.5 Effect of total dose on percent homopolymer.....	57
4.6 Effect of total dose on grafting efficiency.....	57
4.7 Effect of total dose on percent conversion.....	58
4.8 Effect of total dose on percent add-on.....	58
4.9 Effect of total dose on grafting ratio.....	59
4.10 Effect of total dose on viscosity average molecular weight.....	62
4.11 Effect of total dose on grafting frequency.....	62
4.12 Effect of total dose on water absorption.....	63
4.13 Effect of metal sheets on deionized distilled water absorption.....	67
4.14 Effect of the MEHQ inhibitor on percent homopolymer.....	71
4.15 Effect of the MEHQ inhibitor on percent grafting efficiency.....	71
4.16 Effect of the MEHQ inhibitor on percent conversion of monomer....	72
4.17 Effect of the MEHQ inhibitor on percent add-on.....	73
4.18 Effect of the MEHQ inhibitor on grafting ratio.....	73

FIGURE	PAGE
4.19 Effect of the MEHQ inhibitor on viscosity average molecular weight.....	76
4.20 Effect of the MEHQ inhibitor on grafting frequency.....	76
4.21 Effect of the MEHQ inhibitor on water absorption in deionized distilled water.....	77
4.22 Effect of the quantity of acrylonitrile on percent homopolymer.....	82
4.23 Effect of the quantity of acrylonitrile on grafting efficiency.....	82
4.24 Effect of the quantity of acrylonitrile on percent conversion.....	84
4.25 Effect of the quantity of acrylonitrile on percent add-on.....	84
4.26 Effect of the quantity of acrylonitrile on grafting ratio.....	85
4.27 Effect of the quantity of acrylonitrile on viscosity average molecular weight.....	87
4.28 Effect of the quantity of acrylonitrile on grafting frequency.....	88
4.29 Effect of the quantity of acrylonitrile on water absorption in deionized distilled water.....	89
4.30 Water absorption of saponified starch-g-PAN in NaCl solutions of 0.1, 0.5, 1.0, and 2.0% w/v.....	92
4.31 Water absorption of saponified starch-g-PAN in MgCl ₂ solutions of 0.1, 0.5, 1.0, and 2.0% w/v.....	94
4.32 Comparison of water absorption of HSPAN in deionized distilled water and 0.1% w/v of NaCl and MgCl ₂	95
4.33 Water absorption of saponified starch-g-PAN in KCl, K ₃ PO ₄ ·3H ₂ O, NH ₄ Cl and (NH ₄) ₂ HPO ₄ solutions of 0.9% w/w.....	97
4.34 Relationship between swelling degree and ionization degree of polymer electrolyte, crosslinking density of polymer network, ionic strength of salt solution, and pH of polymer solution.....	98
4.35 Water retention of sand mixed with saponified starch-g-PAN with different AN concentrations.....	101

FIGURE	PAGE
4.36 Water retention of sand mixed with saponified starch-g-PAN synthesized with different AN concentrations.....	101
4.37 Water absorption of the saponified starch-g-PAN modified with the different quantities of aluminium trichloride.....	102



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF ABBREVIATIONS

°ซ.	องศาเซลเซียส
°C	degrees celsius
AN	acrylonitrile
S-g-PAN	starch graft polyacrylonitrile
HSPAN	hydrolyzed starch graft polyacrylonitrile
HWAP	high water absorbing polymer
DMF	N,N-dimethylformamide
PAN	polyacrylonitrile
M _v	viscosity average molecular weight
[η]	intrinsic viscosity
G _R	the number of free radicals formed per 100 ev absorbed, is a measure of radiation sensitivity
kGy	kilogray
%	percent
AGU	anhydroglucose unit
α	alpha
γ	gamma
D . P .	degree of polymerization
BU	bushel unit
g	gram
ml	milliliter
M	molarity
cm ⁻¹	unit of wavenumber
microns	micrometers

$C \equiv N$	nitrile group
w / v	weight by volume
w / w	weight by weight
Co^{60}	cobalt-60
I	intensity of radiation
P	backbone polymer
$P \cdot$	polymer radical
M	grafting monomer
PM_m	graft copolymer
PM_n	graft copolymer
PM_{m+n}	graft copolymer
r	rate of initiation of polymer radical
r_i	rate of initiation of graft reaction
r_p	rate of propagation
r_t	rate of termination
k	rate constant for initiation of polymer radicals
k_i	rate constant for initiation of graft reaction
k_p	propagation rate constant
k_t	termination rate constant
J. Polym. Sci. A	Journal of Polymer Science, part A
J. Appl. Polym. Sci.	Journal of Applied Polymer Science
Radiat. Phys. Chem.	Radiation Physics and Chemistry