

**PROCESSABILITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE  
FILM CONTAINING STARCH AS A FILLER**

Mr. Suppawat Suranakapan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Science  
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University  
In Academic Partnership with  
The University of Michigan, The University of Oklahoma  
And Case Western Reserve University

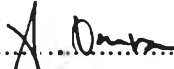
1998

ISBN 974-638-484-4

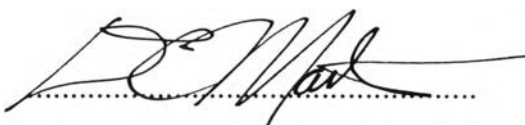
**Thesis Title** : Processability and Mechanical Properties of HDPE Film  
Containing Starch as a Filler  
**By** : Mr. Suppawat Suranakapan  
**Program** : Polymer Science  
**Thesis Advisors** : Assoc. Prof. David C. Martin  
Dr. Ratana Rujiravanit  
Mr. John W. Ellis

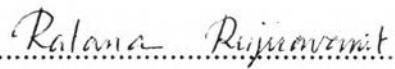
---

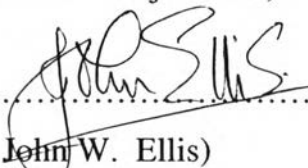
Accepted by the Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science.


.......... Director of the College  
(Prof. Somchai Osuwan)

**Thesis Committee**

  
.....  
(Assoc. Prof. David C. Martin)

  
.....  
(Dr. Ratana Rujiravanit)

  
.....  
(Mr. John W. Ellis)

  
.....  
(Assoc. Prof. Anuvat Sirivat)

## บทคัดย่อ

ศุภวัต สุรนาคะพันธุ์ : ความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีน ความหนาแน่นสูงซึ่งมีแป้งเป็นสารเติมแต่ง (Processability and Mechanical Properties of HDPE Film Containing Starch as a Filler) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. เดวิด ซี มาร์ติน (Assoc. Prof. David C. Martin) ดร.รัตนา รุจิรวนิช และ จอห์น ดับบลิว เอลลิส (Mr. John W. Ellis) 83 หน้า ISBN 974-638-484-8

ในงานวิจัยนี้ ได้นำแป้งสองชนิดมาใช้ในการศึกษาคือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า การศึกษาการผสมกันระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงและแป้งนั้น ใช้แป้งผสมในปริมาณ 0-40% โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของแป้งภายในเมตริกของพอลิเอทิลีน โดยใช้เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคป แสดงให้เห็นว่า แป้งมันสำปะหลังกระจายตัวได้ดีกว่าและไม่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อน (agglomerate) เหมือนแป้งข้าวเจ้า นอกจากนี้ การวัดค่าโมเมนต์บิด (torque) ระหว่างการผสม ยังแสดงให้เห็นว่า การเติมแป้งไปในส่วนผสมนั้น ส่งผลให้ส่วนผสมโดยรวมมีความเหนียวมากขึ้น

การศึกษาคูณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ซึ่งมีแป้งระหว่าง 0-12.5 % แบ่งออกเป็นสองประเภท คือ การศึกษาคูณสมบัติการทนต่อแรงดึง และการทนต่อแรงฉีก พบว่า คูณสมบัติทั้งสองประเภทนี้ลดลง เมื่อปริมาณของแป้งในแผ่นฟิล์มมีมากขึ้น โดยมีข้อยกเว้นในกรณีของแผ่นฟิล์มซึ่งมีปริมาณแป้งมันสำปะหลังต่ำกว่าหรือเท่ากับ 7.5 % นั้น จะมีการทนต่อแรงฉีกมากขึ้น แผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม จึงมีคูณสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าแผ่นฟิล์มที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสม

การดูดซับน้ำของแผ่นฟิล์มพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงที่มีแป้งข้าวเจ้าเป็นส่วนผสม มีมากกว่าแผ่นฟิล์มที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสม เนื่องจากแป้งข้าวเจ้าดูดซับน้ำได้มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง

## ABSTRACT

PM962024 : PETROCHEMICAL TECH./POLYMER SCI. PROGRAM

KEY WORDS : Processability / Mechanical Properties / HDPE Film / Starch

Suppawat Suranakapan : Processability and Mechanical Properties of HDPE Film Containing Starch as a Filler. Thesis Advisors : Assoc. Prof. David C. Martin, Dr. Ratana Rujiravanit, and Mr. John W. Ellis, 83 pp. ISBN 974-638-484-8

The processability of blends of high density polyethylene (HDPE) and starch has been investigated. Two types of native starch were used in this study, namely rice starch and tapioca starch. Starch contents were varied from 0 to 40%. Torque measurements during the blending process suggested that addition of the starch filler stiffened the blends. Furthermore, it was observed that longer mixing times were required for blends with higher starch contents. In addition, tapioca starch provided more homogeneous blends with better dispersion and more uniform distribution of the starch particles than the rice starch. Scanning electron micrographs showed a reduction in mean agglomerate size of rice starch as mixing times were extended.

Tensile strength, elongation at yield, and tear resistance of starch-based HDPE blown films containing 0 to 12.5% starch were measured as a function of starch content in both the machine direction (MD) and transverse direction (TD). Superior tensile strength in the MD over the TD of the films suggested higher orientation in the MD. With increasing starch content there was a general decrease in tear resistance, tensile strength, and elongation at yield – with the exception of tear resistance of tapioca starch-based HDPE blown films at low starch concentrations where tear resistance was found to increase with increasing starch content up to a maximum loading of 7.5%. Mechanical

properties of rice starch-based HDPE blown films were strongly influenced by rice starch agglomerate structure.

Water and moisture absorption of the starch-based HDPE blown film were also investigated. It was found that the water and moisture absorption increased with increasing starch content. The films containing the rice starch showed higher water and moisture absorption than the films containing the tapioca starch indicating that rice starch has higher water affinity than tapioca starch.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Grateful appreciation is extended to my advisor and co-advisors, Assoc. Prof. David C. Martin, Assoc. Prof. Kanchana Trakulcoo Dr. Ratana Rujiravanit, and Mr. John W. Ellis for their kind suggestions and guidance throughout this research work. I also wish to express my special thanks to Mr. Bernd Udo Jacob for providing processing equipment training and helpful suggestions.

I also would like to acknowledge the Siam Modified Starch Co., Ltd. for the support of the starch raw material used throughout this work.

## TABLE OF CONTENTS

CHAPTER	PAGE
Title Page	i
Abstract	iii
Acknowledgements	vi
List of Tables	ix
List of Figures	x
<b>I INTRODUCTION</b>	
1.1 Fillers	1
1.2 Starch	4
1.3 Polyethylene Film	7
1.4 Mechanical Properties	9
1.4.1 Tear Resistance	9
1.4.2 Tensile Properties	9
1.5 Literature Review	12
1.6 Objectives	16
<b>II EXPERIMENTAL SECTION</b>	
2.1 Materials	17
2.2 Experimental Procedure	18
2.2.1 Pretreatment of Starch	18
2.2.2 Starch Density Measurement	18
2.2.3 Processability of Starch-Based HDPE Blends	19
2.2.4 Mechanical Properties of Starch-Based HDPE Blown Films	22

<b>CHAPTER</b>	<b>PAGE</b>
2.2.5 Water and Moisture Absorption of Starch- Based HDPE Blown Films	24
<b>III RESULTS AND DISCUSSION</b>	
3.1 Pretreatment of Starch	26
3.2 Starch Density Measurement	28
3.3 Processability of Starch-Based HDPE Blends	28
3.4 Mechanical Properties of Starch-Based HDPE Blown Films	38
3.4.1 Tear Resistance	38
3.4.2 Tensile Properties	44
3.5 Water and Moisture Absorption of Starch- Based HDPE Blown Films	52
<b>IV CONCLUSION</b>	58
<b>REFERENCES</b>	60
<b>APPENDIX</b>	63
<b>CURRICULUM VITAE</b>	83



**LIST OF TABLES**

<b>TABLE</b>		<b>PAGE</b>
2.1	Physical properties of high-density polyethylene	17
2.2	Batch size calculation of rice starch	20
2.3	Batch size calculation of tapioca starch	20
2.4	Extrusion conditions used in preparing starch materbatch	21
2.5	Extrusion conditions used in preparing the starch-based HDPE blown film	22
2.6	Tensile testing conditions	24
3.1	Density of starches	28
3.2	Moisture absorption (%) of rice starch-based and tapioca starch-based HDPE blown film in 70% relative humidity	57

## LIST OF FIGURES

FIGURE	PAGE
1.1	Stress-strain curves for a polymer at different temperatures 11
2.1	Constant-radius test specimen for tear resistance test 23
3.1	TGA of rice starch 26
3.2	TGA of tapioca starch 27
3.3	Drying curves of rice and tapioca starch 27
3.4	Scanning electron micrographs of rice starch and tapioca starch 29
3.5	Scanning electron micrograph of rice starch at 2000X Magnification 30
3.6	Torque and stock temperature of rice starch-based HDPE blends measured at screw speed of 30, 40, 50, 75, and 90 rpm 31
3.7	Torque and stock temperature of tapioca starch-based HDPE blends measured at screw speed of 30, 40, 50, 75, and 90 rpm 31
3.8	Torque of rice starch-based HDPE blends measured at 0, 10, 20, 30, and 40% starch content 32
3.9	Torque of tapioca starch-based HDPE blends measured at 0, 10, 20, 30, and 40% starch content 33
3.10	Torque of rice starch and tapioca starch-based HDPE blends measured at 0, 10, 20, 30, and 40% starch content 34
3.11	Scanning electron micrographs of the fractured surface of rice starch-based HDPE blends at various mixing times 35
3.12	Scanning electron micrographs of the fractured surface of tapioca starch-based HDPE blends at various mixing times 36
3.13	Size distribution of rice starch 37

<b>FIGURE</b>	<b>PAGE</b>
3.14 Tear resistance of the rice starch-based HDPE blown film	38
3.15 Torn specimens in machine and transverse directions	39
3.16 Tear resistance of the tapioca starch-based HDPE blown film	40
3.17 Tear resistance HDPE blown film	41
3.18 Crazeing at low and high starch concentration	42
3.19 Tear resistance of rice and tapioca starch-based HDPE blown film	43
3.20 Tensile strength at yield of rice starch-based HDPE blown film	44
3.21 Tensile strength at yield of tapioca starch-based HDPE blown film	44
3.22 Tensile strength at yield of rice and tapioca starch-based HDPE blown film	46
3.23 Cross-sectional area of a composite containing filler with diameters 1D and 0.5D	47
3.24 Elongation at yield of rice starch-based HDPE blown film	48
3.25 Elongation at yield of tapioca starch-based HDPE blown film	49
3.26 Elongation at yield of rice and tapioca starch-based HDPE blown film	50
3.27 Water absorption of rice starch-based HDPE blown film	52
3.28 Water absorption of tapioca starch-based HDPE blown film	53
3.29 Water absorption of rice starch-based and tapioca starch-based HDPE blown film at 10% starch content	54
3.30 Tensile strength of rice starch-based HDPE blown film before and after water absorption treatment	55
3.31 Tensile strength of tapioca starch-based HDPE blown film before and after water absorption treatment	56