

ผลของ โครงสร้างเจล โปรตีนที่มีต่อการดูดซึมน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม



นางสิริมา ชินสาร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3573-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PROTEIN GEL STRUCTURE ON OIL UPTAKE IN DEEP-FAT FRYING PROCESS

Mrs. Sirima Chinnasarn

A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-17-3573-1

Thesis Title EFFECTS OF PROTEIN GEL STRUCTURE ON OIL UPTAKE IN DEEP-FAT FRYING PROCESS

By Mrs. Sirima Chinnasarn


Filed of study Food Technology

Thesis Advisor Chidphong Pradistsuwana, Ph.D.

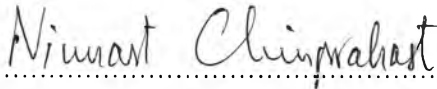
Thesis Co-advisor Associate Professor Pantipa Jantawat, Ph.D.

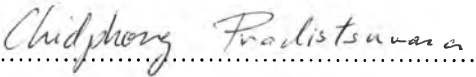
Thesis Co-advisor Professor Keshavan Niranjana, Ph.D.

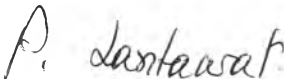
Accepted by the Faculty of Science, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctor's Degree

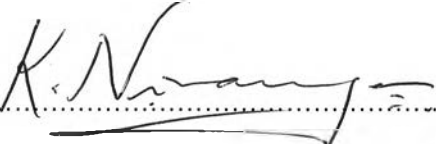

..... Dean of the Faculty of Science
(Professor Piamsak Menasveta, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

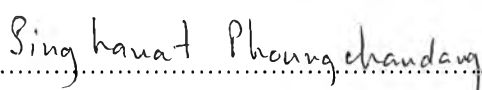

..... Chairman
(Associate Professor Ninnart Chinprahast, Ph.D.)


..... Thesis Advisor
(Chidphong Pradistsuwana, Ph.D.)


..... Thesis Co-advisor
(Associate Professor Pantipa Jantawat, Ph.D.)


..... Thesis Co-advisor
(Professor Keshavan Niranjana, Ph.D.)


..... Member
(Assistant Professor Romanee Sanguandeeikul, Ph.D.)


..... Member
(Associate Professor Singhanat Phoungchandang, Ph.D.)

สิริมา ชินสาร : ผลของโครงสร้างเจลโปรตีนที่มีต่อการดูดซึมน้ำมันในกระบวนการทอดแบบน้ำมันท่วม (EFFECTS OF PROTEIN GEL STRUCTURE ON OIL UPTAKE IN DEEP-FAT FRYING PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ดร. ชิดพงศ์ ประดิษฐ์สุวรรณ, อ. ที่ปรึกษาร่วม: รศ.ดร. พันธิพา จันทวัฒน์, PROF. K. NIRANJAN, Ph.D., 96 หน้า. ISBN 974-17-3573-1.

การผลิตเจลโปรตีนจากปลา (ซุริมิ) มีการให้ความร้อนสองขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการปรับสภาพเจลที่ระดับอุณหภูมิต่ำ (35-80 องศาเซลเซียส) ตามด้วยขั้นตอนการทำให้สุกที่ระดับอุณหภูมิสูง (90 องศาเซลเซียส) การใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันในขั้นตอนของการปรับสภาพเจลให้ค่าความแข็งแรงสุดท้ายของเจลที่ไม่เท่ากัน แต่ในทุกกรณีเจลมีค่าความแข็งแรงสูงสุดที่เวลาในการให้ความร้อนต่างกันโดยขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการปรับสภาพเจล รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งแรงสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปฏิกิริยาแบบ competitive-consecutive first order พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วย DSC แสดงการเกิดปฏิกิริยาทั้งดูดกลืนและคายความร้อนเมื่ออุณหภูมิของเจลเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นอุณหภูมิและเวลาที่ซุริมิได้รับในระหว่างขั้นตอนการปรับสภาพเจลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสุดท้ายของโปรตีนซึ่งส่งผลให้เจลมีค่าความแข็งแรงและโครงข่ายต่างกัน ค่าความแข็งแรงของเจลที่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับโครงสร้างโครงข่ายเจลซึ่งพิจารณาได้จากสัดส่วนโดยปริมาตรของของแข็งในเจล โดยเจลที่มีค่าความแข็งแรงสูงมีสัดส่วนโดยปริมาตรของของแข็งที่มากกว่า

ในการทอดเจลโปรตีนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที พบว่าการดูดกลืนน้ำมันเกิดขึ้นในช่วงการทำให้เย็นมากกว่าระหว่างทอด โดยน้ำมันมากกว่าร้อยละ 80 ของน้ำมันทั้งหมดที่ดูดกลืนโดยเจลเกิดขึ้นในช่วงหนึ่งนาทีแรกของการทำให้เย็น เปลือกแข็งที่เกิดบนผิวด้านนอกของซุริมิมิสมบัติด้านการซึมผ่านต่ำเป็นเหตุให้อัตราการสูญเสียน้ำถูกจำกัด ความดันไอน้ำจึงสูงขึ้นภายในเจล ส่งผลให้โครงสร้างของเจลแตกเกิดเป็นช่องว่างที่เต็มไปด้วยไอน้ำ การถ่ายโอนความร้อนในลักษณะเสมือนการนำความร้อนแบบที่ร้อนจึงเกิดขึ้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการนำความร้อนของระบบแท่งทรงกระบอกที่มีความยาวอนันต์โดยมีค่าสมบัตินำความร้อนเปลี่ยนแปลงเป็นลำดับขั้นอย่างกะทันหันสามารถใช้ทำนายอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในเจลขณะทอดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาทีได้

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร.....	ลายมือชื่อนิติ.....	Sirima Chinnasarn
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....	Chidphong Praditsuan
ปีการศึกษา2548.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....	P. Kantawrat
	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....	K. Nirajan

4473843223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: PROTEIN GEL / SURIMI /STRUCTURE / OIL UPTAKE / DEEP-FAT FRYING

SIRIMA CHINNASARN : EFFECTS OF PROTEIN GEL STRUCTURE ON OIL UPTAKE
IN DEEP-FAT FRYING PROCESS. THESIS ADVISOR : CHIDPHONG
PRADISTSUWANA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. PANTIPA
JANTAWAT, Ph.D., PROF. K. NIRANJAN, Ph.D., 96 pp. ISBN 974-17-3573-1.

Fish protein (surimi) gel was processed in two heating steps: setting at low temperature (35-80 °C) and then cooking at high temperature (90 °C). Different final gel strengths were obtained in treatments with different temperature/time combinations during the setting step. But in all cases, it was seen that the gel strength passed through a maximum at a time depending differently on the setting temperature. A competitive-consecutive first order model was outlined. The DSC thermograms showed that both endothermic and exothermic processes occurred when the temperature changed. Thus, the effect of the different temperature-time histories experienced by surimi paste during the setting step on the final protein conformation resulted in different gel strengths and networks. The gel strength change could be correlated with the network structure as measured by the volume fraction of solid. Higher gel strengths were obtained from higher solid fraction gels.

In frying process at 180 °C for 3 minutes, the oil absorption mostly occurred during cooling period rather than frying period. More than 80% of total structural oil uptake occurred by the first minutes of cooling time. A low permeability crust on the surface of surimi gel was developed. It restricted the rate of water loss leading to high steam pressure developed inside the gel, thus resulting in the internal gel structure breakdown. Consequently, the voids occurred and were filled with steam. The heat pipe-like-heat transfer was evidenced. Subsequently, a mathematical heat conduction model of infinite cylinder system with stepping change of thermal conductivity was developed and was able to predict temperature distribution inside the gel during frying at 180 °C for 3 minutes in good agreement with the experimental data.

Department.....Food Technology.....

Field of study....Food Technology.....

Academic year.....2005.....

Student's signature.....*Sirima Chinnasarn*.....

Advisor's signature.....*Chidphong Pradistsum*.....

Co-advisor's signature.....*P. Jantawat*.....

Co-advisor's signature.....*K. Niranjana*.....

Acknowledgments

I would like to express my thankfulness to my supervisor Dr. Chidphong Praditsuwana and my co-supervisors Professor David Leo Pyle, Associate Professor Dr. Pantipa Jantawat and Professor Keshavan Niranjana for their guidance, encouragement and enthusiasm through all this work.

My sincere thanks are extended to all the people who collaborated in the development of this work. I am especially indebted to Dr. Richard Frazier and Dr. Rebecca Green for their advice and discussion in part of protein conformation and differential scanning calorimetry.

My heartfelt thanks go to all the technical staffs in the School of Food Biosciences, the University of Reading for their valuable and varied assistance. A special mention goes to Mr. Stephen Pountney from the Department of Animal and Microbiological Sciences, the University of Reading for his advice and help with scanning electron microscopy experiments.

The financial support of the Royal Thai Government is gratefully acknowledged.

Table of Contents

Thai Abstract.....	iv
English Abstract.....	v
Acknowledgments.....	vi
Table of Contents.....	vii
List of Tables.....	ix
List of Figures.....	xi
Chapter	
I Introduction.....	1
II Literature Review.....	4
2.1 Proteins.....	4
2.2 Protein Gel.....	6
2.3 Fish as Raw Material.....	7
2.4 Protein Components of Surimi.....	9
2.5 Endogenous Enzymes in Surimi.....	13
2.6 Gelation Mechanism.....	15
2.7 Surimi Gel Formation.....	16
2.8 Microstructure of Protein Gel.....	17
2.9 Deep-Fat Frying.....	19
2.10 Fried Products.....	19
2.11 Heat and Mass Transfer during Deep-Fat Frying.....	20
2.12 Kinetics of Oil Uptake.....	22
2.13 Factors Affecting Oil Uptake.....	24
III Materials and Methods.....	29
3.1 Development of Fish Protein Gel.....	29
3.2 Frying.....	32
IV Development of Surimi Gel.....	37
4.1 Effect of Setting Temperature and Time on Gel Formation and Gel Texture	38

4.2 Kinetic Model for Texture Development.....	45
4.3 Conclusion.....	57
V Frying Characteristics of Surimi Gels.....	58
5.1 Kinetics of Oil Penetration.....	59
5.2 Kinetics of Crust Development during Frying.....	64
5.3 Water Removal.....	68
5.4 Heat Transfer in Surimi Gel during Frying.....	71
5.5 Conclusion.....	77
VI Overall Conclusion.....	78
References.....	81
Appendices.....	89
Biography.....	97

List of Tables

4.1	Values of k_1 , k_2 and k_3 (Equation 4.3) at various setting temperature.....	49
A.1.1	Analysis of variance of the surface oil absorption at a frying period of 90 seconds.....	90
A.1.2	Analysis of variance of the surface oil absorption at a frying period of 150 seconds.....	90
A.1.3	Analysis of variance of the surface oil absorption at a frying period of 180 seconds.....	91
A.2.1	Analysis of variance of the structural oil absorption at a frying period of 90 seconds.....	91
A.2.2	Analysis of variance of the structural oil absorption at a frying period of 150 seconds.....	92
A.2.3	Analysis of variance of the structural oil absorption at a frying period of 180 seconds.....	92
A.3.1	Analysis of variance of the surface oil content at a cooling period of 1 minute.....	92
A.3.2	Analysis of variance of the surface oil content at a cooling period of 3 minutes.....	93
A.3.3	Analysis of variance of the surface oil content at a cooling period of 5 minutes.....	93
A.4.1	Analysis of variance of the structural oil absorption at a cooling period of 1 minute.....	94
A.4.2	Analysis of variance of the structural oil absorption at a cooling period of 3 minutes.....	94
A.4.3	Analysis of variance of the structural oil absorption at a cooling period of 5 minutes.....	95
A.5.1	Analysis of variance of the moisture loss at a frying period of 90 seconds.....	95

A.5.2	Analysis of variance of the moisture loss at a frying period of 120 seconds.....	96
A.5.3	Analysis of variance of the moisture loss at a frying period of 150 seconds.....	96
A.5.4	Analysis of variance of the moisture loss at a frying period of 180 seconds.....	96

List of Figures

4.1 Gel strength of threadfm bream surimi at various setting time-temperature combinations.....	39
4.2 Scanning electron microphotographs of threadfm bream surimi gels setting at (A) 50 °C, 40 minutes (gel strength 520 g.cm) (B) 40 °C, 60 minutes (gel strength 1,269 g.cm) and (C) 40 °C, 20 minutes (gel strength 1,670 g.cm). Magnification = 10,000x.....	40
4.3 Gel strengths of cod surimi gels at setting time-temperature of 35-50 °C (A) and 60-80 °C (B).....	42
4.4 A reaction network for texture development of cod surimi gel.....	45
4.5 Comparison between experimental gel strength values for cod surimi during setting at (A) 40 °C; (B) 60 °C; (C) 80 °C, deduced from Equation 4.3 using the best fit values of k_1 , k_2 and k_3	48
4.6 Effect of setting temperature on the rate constant of (A) textural formation (k_1), (B) textural degradation (k_2) and (C) fish protein degradation (k_3).....	50
4.7 DSC thermogram of protein from cod surimi.....	52
4.8 Relationship between solid fraction and gel strength for cod surimi gels setting at (A) without setting (gel strength 1,015 g.cm); (B) 50 °C, 15 min (gel strength 1,717 g.cm); (C) 35 °C, 35 min (gel strength 1,796 g.cm); (D) 45 °C, 20 min (gel strength 1,933 g.cm); (D) 40 °C, 30 min (gel strength 2,373 g.cm).....	54
4.9 Scanning electron micrographs of gel network formed in cod surimi gels at gel strength of 1,015 g.cm (A), 1,717 g.cm (B) and 2,373 g.cm (C). Magnification = 10,000x	55
5.1 Quantities of surface oil (A) and structural oil (B) absorbed by surimi gels during frying.....	60
5.2 Quantities of surface oil (A) and structural oil (B) absorbed by surimi gels during cooling.....	62
5.3 Strengths of surimi gel crusts during frying at 180 °C for 180 seconds.....	65

5.4 Scanning electron microphotographs of defatted surfaces of surimi gels at 1,000 g.cm (A) 1,700 g.cm (B) 2,300 g.cm (C) initial gel strengths, after frying at 180°C for 3 minutes. Magnification = 500x	67
5.5 Water loss in surimi gels fried at 180 °C for 180 seconds.....	68
5.6 Microphotographs of cross-sectioned surimi gels during frying at 180 °C for 30-180 seconds	70
5.7 Comparison between experimental and one-stage predicted center line temperature for surimi gel frying at 180 °C for 180 seconds	72
5.8 Experimental and predicted centre line temperatures during frying of 2.5 cm diameter fish protein gels at 180 °C.....	76