

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E47233



DIELECTRIC AND FLOW PROPERTIES OF PAPAYA PUREE

MISS NUALPAN THIRAJITTO

A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (FOOD ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI

2011

600254154

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



DIELECTRIC AND FLOW PROPERTIES OF PAPAYA PUREE



MISS NUALPAN THIRAJITTO

A SPECIAL RESEARCH PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING (FOOD ENGINEERING)
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI

2011

Dielectric and Flow Properties of Papaya Puree

Miss Nualpan Thirajitto B.E. (Chemical Engineering)

A Special Research Project Submitted in Partial Fulfillment
of the Requirements for
the Degree of Master of Engineering (Food Engineering)
Faculty of Engineering
King Mongkut's University of Technology Thonburi
2011

Special Research Project Committee

 (Lect. Kamon Jirasereeamornkul, Ph.D.)	Chairman of Special Research Project Committee
 (Assoc. Prof. Ampawan Tansakul, Ph.D.)	Member and Special Research Project Advisor
 (Assoc. Prof. Adisak Nathakaranakul, Ph.D.)	Member
 (Asst. Prof. Denchai Worasawate, Ph.D.)	Member

Special Research Project Title	Dielectric and Flow Properties of Papaya Puree
Special Research Project Credits	6
Candidate	Miss Nualpan Thirajitto
Special Research Project Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ampawan Tansakul
Program	Master of Engineering
Field of Study	Food Engineering
Department	Food Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2554

Abstract

E47233

The main objective of this study was to investigate the effects of soluble solids content and temperature on the dielectric and flow properties of papaya puree. For dielectric properties, papaya puree samples with different soluble solids contents of 10, 15, 20 and 25 °Brix at temperatures of 40, 50, 60, 70 and 80 °C were examined using the open-ended coaxial probe method. Results showed that at 915 and 2450 MHz, dielectric constant decreased with increasing soluble solids content and temperature. Dielectric loss factor increased with increasing soluble solids content and temperature at 915 MHz; however, at 2450 MHz, decreasing soluble solids content and increasing temperature caused a decrease in the dielectric loss factor. The empirical models were developed for predicting the dielectric constant and dielectric loss factor as a function of soluble solids content and temperature at frequencies of 915 and 2450 MHz. For flow properties, papaya puree samples with soluble solids contents of 10, 15, 20 and 25 °Brix and temperatures of 5, 20, 35, 50, 65 and 80 °C were assessed using a rotational

E47233

concentric cylinder viscometer. After eliminating time dependency, it was observed that the flow behavior of papaya puree was pseudoplastic with yield stress. The Herschel-Bulkley model was successfully used to describe the flow behavior of papaya puree. The consistency coefficient and apparent viscosity increased with increasing soluble solids content and decreasing temperature. The temperature dependence of the apparent viscosity of papaya puree was well explained by the Arrhenius relationship.

Keywords: Dielectric Constant / Dielectric Loss Factor / Dielectric Properties / Flow Properties / Papaya Puree / Rheology / Viscosity

หัวข้อโครงการศึกษาวิจัยพิเศษ	สมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติการไหลของเนื้อมะละกอดีป่น
หน่วยกิต	6
ผู้เขียน	นางสาวนวลพรรณ ธิรจิตโต
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ดร.อัมพวัน ตันสกุล
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอาหาร
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2554

บทคัดย่อ

E 47233

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติไดอิเล็กทริกและสมบัติการไหลของเนื้อมะละกอดีป่น จากการศึกษาสมบัติไดอิเล็กทริกของเนื้อมะละกอดีป่นที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10, 15, 20 และ 25 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี Open-ended coaxial probe พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีค่าลดลง ณ ความถี่ไมโครเวฟ 915 และ 2450 MHz ส่วนค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิ ณ ความถี่ 915 MHz แต่ค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริกกลับมีค่าลดลงหากลดปริมาณของแข็งที่ละลายได้และเพิ่มอุณหภูมิ ณ ความถี่ 2450 MHz จากนั้นได้พัฒนาแบบจำลองเชิงประจักษ์ขึ้นเพื่อทำนายค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าแฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริกที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าปริมาณ

E47233

ของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิ ในส่วนของการศึกษาสมบัติการไหลของเนื้อมะละกอตีปั่นที่มี ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ 10, 15, 20 และ 25 องศาบริกซ์ ที่อุณหภูมิ 5, 20, 35, 50, 65 และ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Rotational concentric cylinder viscometer พบว่าเนื้อมะละกอตีปั่นแสดง สมบัติการไหลแบบซูโดพลาสติกที่มีความเค้นคลาก และสามารถใช่แบบจำลองของ Herschel-Bulkley ในการอธิบายสมบัติการไหลของเนื้อมะละกอตีปั่นได้ดี ทั้งนี้เมื่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความข้นหนืดและความหนืดปรากฏจะมีค่าเพิ่มขึ้น พบว่า ความสัมพันธ์อาร์เรเนียสสามารถอธิบายผลของอุณหภูมิต่อความหนืดปรากฏของเนื้อมะละกอตีปั่น ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ค่าคงที่ไดอิลิกทริก / ค่าแฟคเตอร์การสูญเสียไดอิลิกทริก / สมบัติไดอิลิกทริก / สมบัติ การไหล / เนื้อมะละกอตีปั่น / รีโอโลยี / ความหนืด

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express my thanks and appreciation for the assistance given by all those who contributed to fulfill this special research project. First of all, I would like to thank my advisor, Assoc. Prof. Dr. Ampawan Tansakul for her valuable guidance, encouragement, sound advice, constructive ideas, and confidence in me. The discussions with you are very informative and helpful for conducting the present study. I appreciate all kind comments and important feedbacks from all committee members including Assoc. Prof. Dr. Adisak Nathakaranakule, Assoc. Prof. Dr. Kamon Jirasereeamornkul and Asst. Prof. Dr. Denchai Worasawate. I am very thankful to Prof. Dr. Prayoot Akkaraekthalin of King Mongkut's University of Technology North Bangkok and Dr. Somporn Seewattanapon of Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi for their special helps and Network Analyzer, Agilent Technologies Model N5230A, USA. I would also like to thank Asst. Prof. Dr. Denchai Worasawate and NTC Telecommunications Research Laboratory at Department of Electrical Engineering, Kasetsart University for Agilent 85070E Dielectric Probe Kit and Chemical Engineering Laboratory, King Mongkut's University of Technology Thonburi for Rotational Concentric Cylinder Viscometer, Haake Model VT500.

This work was supported by the Thailand Research Fund (TRF) and the Commission on High Education (CHE) under TRF – CHE Research Grant for Mid – Career University Faculty.

I would also like to especially thank the King Mongkut's University of Technology Thonburi for their financial support.

CONTENTS

	PAGE
ENGLISH ABSTRACT	ii
THAI ABSTRACT	iv
ACKNOWLEDGEMENTS	vi
CONTENTS	vii
LIST OF TABLES	ix
LIST OF FIGURES	x
LIST OF SYMBOLS	xiii
CHAPTER	
1. INTRODUCTION	1
1.1 Background	1
1.2 Objective	3
1.3 Scopes	3
1.4 Expected Benefit	3
2. THEORY AND LITERATURES REVIEW	4
2.1 Papaya and its Composition	4
2.2 Microwave Heating and Dielectric Properties	6
2.3 Rheological Properties	20
3. MATERIALS AND METHODS	33
3.1 Raw Materials	33

3.2 Apparatus	33
3.3 Experimental Procedures	34
4. RESULTS AND DISCUSSIONS	43
4.1 Dielectric Properties of Papaya Puree	45
4.2 Flow Properties of Papaya Puree	54
5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS	68
5.1 Dielectric Properties	68
5.2 Rheological Properties	68
REFERENCES	69
APPENDIX	
A. Proximate Analysis of Papaya Puree	80
B. Dielectric Properties of Papaya Puree	84
CURRICULUM VITAE	87

LIST OF TABLES

TABLE	PAGE
2.1 Nutrient content of ripe papaya	5
2.2 The comparison of dielectric properties measurement techniques	13
3.1 A 3 factors, 4×5×2 full factorial design for dielectric properties	40
3.2 A 2 factors, 4×6 full factorial design for Rheological properties	41
4.1 Physicochemical characteristics of single strength papaya puree	44
4.2 Frequencies at Turning Points and Dielectric Loss Factors of Papaya puree at various Soluble Solids Contents and Temperatures (using network analyzer, Agilent Technologies N5230C PNA-L Model)	48
4.3 Empirical model of dielectric constant and loss factor at different frequencies; 915 and 2450 MHz (network analyzer Agilent Technologies N5230C 300 kHz- 13.5 GHz PNA-L with commercial software)	53
4.4 Yield stress (τ_y), flow behavior index (n) and consistency coefficient (K) of papaya puree at various soluble solids content (°Brix) and various temperatures (°C)	58
4.5 The apparent Viscosity at 300 s^{-1} (Pa·s) of papaya puree at various temperatures and concentrations	62
4.6 Parameters of Arrhenius model ($\eta_{\infty A}$ and E_a) from the effect of temperature	63
4.7 The parameters value of power law and exponential model of papaya puree for the effect of concentration on the apparent viscosity	66

LIST OF FIGURES

FIGURES	PAGE
2.1 Heat generation in microwave: Ionic polarization and dipole rotation	7
2.2 Effect of temperature on dielectric constant ϵ' and loss factor ϵ'' of free water ($\omega = 2\pi f$, where f is frequency in Hz)	10
2.3 Effect of temperature on dielectric loss factor ϵ'' of 0.5N aqueous sodium chloride at three temperatures	10
2.4 Open-ended coaxial probe and dielectric property measurement system	14
2.5 Shear stress-shear rate curves for thixotropic and rheopectic fluids (Chhabra, 2010)	23
2.6 Rheological behavior between Newtonian fluids and Non-Newtonian fluids (Toledo, 1991)	26
3.1 Papaya puree sample at various total soluble solids	35
3.2 Open-ended coaxial probe connected to network analyzer, Agilent technologies N5230C 300 kHz-13.5GHz PNA-L Model, USA	37
3.3 Rotational concentric cylinder viscometer, Haake VT500 Model, Germany connected to computer and heating or cooling water bath	38
4.1 Moisture content versus soluble solids contents of papaya purees	45
4.2 Dielectric constant of papaya puree at frequency range from 355 to 8010 MHz and different temperatures, 40 °C, 50 °C, — 60 °C, — · — 70 °C and ······ 80 °C using Network analyzer 5230C model at (A): 10 °Brix, (B) : 15 °Brix, (C) : 20 °Brix	46

- and (D) : 25 °Brix
- 4.3 Dielectric loss factor of papaya puree at frequency range from 355 to 8010 MHz and different temperatures, 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C and 80 °C using Network analyzer 5230C model at (A): 10 °Brix, (B) : 15 °Brix, (C) : 20 °Brix and (D) : 25 °Brix 47
- 4.4 Dielectric properties, (A): dielectric constant and (B): dielectric loss factor of papaya puree at different soluble solids contents (●):10 °Brix (○):15 °Brix (▼):20 °Brix (△): 25 °Brix as a function of temperatures at frequencies of 915 MHz (Using network analyzer, Agilent Technologies N5230C PNA-L Model) 49
- 4.5 Dielectric properties, (A): dielectric constant and (B): dielectric loss factor of papaya puree at different soluble solids contents (●):10 °Brix (○):15 °Brix (▼):20 °Brix (△): 25 °Brix as a function of temperatures at frequencies of 2450 MHz (Using network analyzer, Agilent Technologies N5230C PNA-L Model) 50
- 4.6 Relationship between shear stress (Pa) and shear rate (s^{-1}) of 10 °Brix papaya puree at 5°C, where (●) is up curve line and (△) is down curve line 54
- 4.7 Relationship between shear stress (Pa) and shear rate (s^{-1}) of (A) 10 °Brix, (B) 15 °Brix, (C) 20 °Brix and (D) 25 °Brix of papaya puree at various temperatures, (●):5, (○):20, (▼):35, (△):50, (■):65 and (□):80 °C 55
- 4.8 Relationship between apparent viscosity (Pa.s) and shear rate (s^{-1}) of (A) 10 °Brix, (B) 15 °Brix, (C) 20 °Brix and (D) 25 °Brix 57

of papaya puree at various temperatures, (●):5, (○):20, (▼):35,
(△):50, (■):65 and (□):80 °C

- 4.9 ln(apparent viscosity) versus temperature of papaya puree samples at 63
(●):10 °Brix, (○):15 °Brix, (▼):20 °Brix and (△):25 °Brix obtained
from Arrhenius relationship
- 4.10 The apparent viscosity at 80 °C versus concentration 66
- B.1 Dielectric properties, (A): dielectric constant and (B): dielectric 85
loss factor of papaya puree at different soluble solids contents
(●):10 °Brix (○):15 °Brix (▼):20 °Brix (△): 25 °Brix as a function
of temperatures at frequencies of 915 MHz (Using network
analyzer, Agilent Technologies N5230A PNA-L Model)
- B.2 Dielectric properties, (A): dielectric constant and (B): dielectric 86
loss factor of papaya puree at different soluble solids contents
(●):10 °Brix (○):15 °Brix (▼):20 °Brix (△): 25 °Brix as a function
of temperatures at frequencies of 2450 MHz (Using network
analyzer, Agilent Technologies N5230A PNA-L Model)

LIST OF SYMBOLS

ε'	=	dielectric constant
ε''	=	dielectric loss factor
ε_C	=	complex permittivity
ε_∞	=	the infinite or high frequency relative permittivity,
ε_s	=	the static or zero-frequency relative permittivity
C_0 and G_0	=	constants given by the equivalent circuit of the probe in free space
S_{11}	=	the measured reflection coefficient
Y	=	the measured admittance of the probe
Y_0	=	$1/(50\Omega)$ is characteristic admittance of the probe
τ	=	shear stress exerted by the fluid (Pa)
τ_y	=	yield stress exerted by the fluid (Pa)
η	=	fluid viscosity (Pa·s)
n	=	flow behavior index
K	=	consistency coefficient
$\dot{\gamma}$	=	shear rate (s^{-1})
η_s	=	the apparent viscosity at specified shear rate (Pa.s)
$\eta_{\infty A}$	=	the frequency factor
E_a	=	the activation energy (kJ mol^{-1})
R	=	the gas constant ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$)
T	=	temperature ($^{\circ}\text{C}$, K)
B	=	soluble solids content ($^{\circ}\text{Brix}$)
a, b, d, e, A and B	=	constants of the models