การพัฒนายางปูพื้นโดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม
The Development of Rubber Floor Using Silica from Rice Husk Ash as Filler

อนุรักษ์ บุญมาก
Anoorak Boonmak

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Minor Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Management
Prince of Songkla University
2559

ชื่อสารนิพนธ์	การพัฒนายางปูพื้นโดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม
ผู้เขียน	นายอนุรักษ์ บุญมาก
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภิสพร มีมงคล)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กลางเดือน โพชนา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. องุ่น สังขพงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภิสพร มีมงคล)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กลางเดือน โพชนา)
ประธานคณะกรรมการบริหารหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาการจัดการอุตสาหกรรม

ชื่อสารนิพนธ์ การพัฒนายางปูพื้นโดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม
ผู้เขียน นายอนุรักษ์ บุญมาก
สาขาวิชา การจัดการอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางปูพื้นให้มีสมบัติความแข็งเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าคือไม่เกิน 50 Shore A โดยใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมผสมในสูตรยางคอมปาวด์ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของฐานยางปูพื้น และส่วนของยางหุ้มผิวแบ่งออกเป็น

6 สูตร แต่ละสูตรแตกต่างกันที่ปริมาณสัดส่วนการใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบคือ 10 20 30 40 50 และ 60 phr ตามลำดับ สัดส่วนของส่วนฐานต่อส่วนหุ้มผิว คือ 25 : 75 และอัดขึ้นรูปพร้อมกันที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการขึ้นรูป 5 นาที ผลการทดลอง พบว่า การทดสอบสมบัติก่อนการบ่มเร่ง ค่าความแข็งของยางปูพื้นจะมีแนวโน้มมากขึ้นตามปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของซิลิกาจากเถ้าแกลบ และค่าความต้านทานแรงดึง ค่าระยะยืดเมื่อขาด และการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ สำหรับการทดสอบสมบัติหลังการบ่มเร่ง ค่าความแข็งที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง และค่าระยะยืดเมื่อขาดก่อนบ่มและหลังบ่มจะมีแนวโน้มส่วนต่างลดลง ตามปริมาณสัดส่วนของซิลิกาจากเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น และพบว่าปริมาณสัดส่วนของซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ 40 phr มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติการทนต่อก้นบุหรี่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น (มอก.2377-2551) พร้อมทั้งมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำคือ 59.03 บาทต่อชิ้น

Minor Thesis Title The Development of Rubber Floor Using Silica from Rice Husk Ash as Filler

Author Mr. Anoorak Boonmak

Major Program Industrial Management

Academic Year 2015

ABSTRACT

The objective of this research is to develop the hardness of flooring rubber with hardness less than 50 shore A that is in customer's specification. The silica from rice husk ash was used as filler mixed in compound rubber formula consisting of 2 parts which are flooring rubber base and surface rubber. Which are divided in to 6 formulas. Each of formulas has different volume of silica from rice husk ash ratio usage e.g. 10, 20, 30, 40, 50 and 60 phr respectively. The ratio of the base to the surface is 25:75 and their compression molding together is at 150 degree

Celsius for 5 minutes. The results before aging showed that the hardness of flooring rubber had increased by the volume of silica from rice husk. Tensile strength and elongation at break and the compression set had been decreased by the volume ration increased. The results of the hardness of flooring after aging had not changed and also found that the ratio of silica from rice husk ash. The tensile strength and elongation at break before aging and after aging had been decreased by the volume ration of silica from rice husk ash increased. At 40 phr got physical qualification and resistance of cigarette butt which is on industrial standards-based products, flooring rubber (TIS 2377-2551) with low production cost at 59.03 baht per piece.

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภิสพร มีมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์ ผู้ให้แนวทาง คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ประธานกรรมการและกรรมการสอบสารนิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของสารนิพนธ์เล่มนี้ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณแหล่งข้อมูลต่างๆ อันได้แก่ ศูนย์วิจัยยางสงขลา ห้องสมุด และสื่ออิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญมากในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และครอบครัว ผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจเป็นแรงผลักดันในการก้าวเดินอย่างไม่ท้อถอย และสนับสนุนในทุกๆด้านแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

อนุรักษ์ บุญมาก

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... (3)
ABSTRACT ..... (4)
กิตติกรรมประกาศ ..... (5)
สารบัญ ..... (6)
สารบัญตาราง ..... (9)
สารบัญรูปภาพ ..... (10)
นิยามคำศัพท์ ..... (12)
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการวิจัย 2
1.5 นิยามเฉพาะ 3
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1.1 ยางธรรมชาติ 4
2.1.2 สารเคมีสำหรับยาง 6
2.1.3 เทคนิคการออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง 14
2.1.4 เทคโนโลยีการผสมยาง 16
2.1.5 การหาระยะเวลายางสุก 20
2.1.6 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ 20
2.1.7 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยาง 22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 29
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 29
3.1.1 เครื่องมือในการผลิตซิลิกาจากแกลบ 29
3.1.2 เครื่องมือในการขึ้นรูปยางและการทดสอบ 29
3.1.3 เครื่องมือในการทดสอบ 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.4 อุปกรณ์เตรียมซิลิกาจากเถ้าแกลบและยางคอมปาวด์ 30
3.2 วัตถุดิบและสารเคมี 30
3.3 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย 31
3.3.1 การเตรียมซิลิกาจากแกลบ 32
3.3.2 การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ สารเคมี 33
3.3.3 การออกแบบและขึ้นรูปชิ้นงาน 33
3.3.4 การทดสอบสมบัติของยางคงรูป 44
3.3.5 การทดสอบความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติ 47
3.3.6 การคำนวณต้นทุนการผลิต 48
บทที่ 4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง 50
4.1 ผลการทดสอบระยะเวลาการคงรูปของยาง 50
4.2 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบทางสถิติ 51
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของยาง 54
4.3.1 ผลการทดสอบค่าความแข็งของยาง 54
4.3.2 ผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง 54
4.3.3 ผลการทดสอบการบ่มเร่ง 56
4.3.4 ผลการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด 58
4.3.5 ผลการทดสอบการทนต่อก้นบุหรี่ 59
4.4 การคำนวณต้นทุนการผลิต 60
4.4.1 ต้นทุนด้านวัตถุดิบ 61
4.4.2 ต้นทุนด้านพลังงาน 65
4.4.3 ต้นทุนด้านค่าแรง 66
4.4.4 ต้นทุนรวม 68
4.5 การอภิปรายผล 70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 72
5.1 สรุปผลการวิจัย 72
5.2 ข้อเสนอแนะ 73
บรรณานุกรม 74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 76
ภาคผนวก ก รูปแบบแม่พิมพ์ 77
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง 80
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์การทดสอบความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ 88
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการคำนวณปริมาณยางและสารเคมีของยางคอมปาวด์ 100
ภาคผนวก จ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น 107
ประวัติผู้เขียน 113

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติและองค์ประกอบของเถ้าแกลบ 10
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ 10
ตารางที่ 2.3 การแบ่งกลุ่มขององค์ประกอบที่ใช้ในการผสมเคมียาง 15
ตารางที่ 2.4 สูตรยางที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ยางปูพื้น 16
ตารางที่ 2.5 ลำดับของการผสมสารเคมี 19
ตารางที่ 2.6 ผลระดับความเสียหายของผลิตภัณฑ์จากก้นบุหรี่ 26
ตารางที่ 2.7 ค่ากำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น 26
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และเงื่อนไขในการผลิต 32
ตารางที่ 3.2 ผลการคำนวณปริมาตรของยางและสารเคมีของยางคอมปาวด์สูตร 10 phr 35
ตารางที่ 3.3 ผลการคำนวณ Multiplying factor ของยางคอมปาวด์สูตร 10 phr 37
ตารางที่ 3.4 น้ำหนักส่วนผสมในยางคอมปาวด์ส่วนหุ้มผิวที่ใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ 10 phr 39
ตารางที่ 3.5 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ 44
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลา cure time และ scorch time ของสูตรยางที่ใช้ในการทดลอง 51
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางปูพื้น 59
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมแผ่นยางปูพื้น 60
ตารางที่ 4.4 การคำนวณราคายางคอมปาวด์ สูตรที่ใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ 40 phr 61
ตารางที่ 4.5 การคำนวณราคายางคอมปาวด์ สูตรที่ใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ 50 phr 62
ตารางที่ 4.6 การคำนวณราคายางคอมปาวด์ สูตรที่ใช้ซิลิกาจากเถ้าแกลบ 60 phr 63
ตารางที่ 4.7 การคำนวณราคายางคอมปาวด์ สูตรยางส่วนฐาน 64
ตารางที่ 4.8 ต้นทุนด้านวัตถุดิบของยางปูพื้นแต่ละสูตร 65
ตารางที่ 4.9 ต้นทุนด้านพลังงานทางตรง 65
ตารางที่ 4.10 สรุปต้นทุนด้านพลังงานของยางปูพื้นแต่ละสูตร 66
ตารางที่ 4.11 ต้นทุนด้านค่าแรง 67
ตารางที่ 4.12 สรุปต้นทุนด้านค่าแรงของยางปูพื้นแต่ละสูตร 68
ตารางที่ 4.13 ต้นทุนรวมในกระบวนการผลิต 68
ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลชิ้นงานจากการทดลองกับชิ้นงานตามท้องตลาด 69

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ 5
รูปที่ 2.2 ลักษณะของหมู่ไซลานอลบนพื้นผิวของซิลิกา 7
รูปที่ 2.3 โครงสร้างการจับกลุ่มของอนุภาคซิลิกา 8
รูปที่ 2.4 การดูดซึมและการสะสมซิลิกาในต้นข้าว 9

รูปที่ 2.5 สูตรโมเลกุลของสารตัวเร่ง MBTS 11
รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างสารตัวเร่ง TMTM 12
รูปที่ 2.7 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง 18
รูปที่ 2.8 เครื่อง Rheometer MDR 2000 20
รูปที่ 2.9 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก 21
รูปที่ 2.10 แม่พิมพ์ยางปูพื้น 21
รูปที่ 2.11 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A 22
รูปที่ 2.12 เครื่องทดสอบ Tensile strength 23
รูปที่ 2.13 ชิ้นตัวอย่างทดสอบ Tensile strength 23
รูปที่ 2.14 ตู้อบบ่มเร่งยี่ห้อ ESPEC 24
รูปที่ 2.15 เครื่องมือทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด 25
รูปที่ 2.16 หลักการทดสอบความต้านทานต่อการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด 25
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 31
รูปที่ 3.2 ลักษณะของซิลิกาจากเถ้าแกลบ 33
รูปที่ 3.3 การบดยางผสมสารเคมี 40
รูปที่ 3.4 ลักษณะยางคอมปาวด์แผ่นเรียบ 41
รูปที่ 3.5 ลักษณะชิ้นทดสอบแบบสี่เหลี่ยม 42
รูปที่ 3.6 ลักษณะชิ้นทดสอบแบบวงกลม 42
รูปที่ 3.7 ลักษณะการใส่ชิ้น Preform ในแม่พิมพ์ 42
รูปที่ 3.8 ลักษณะชิ้นทดสอบหลังการอัดขึ้นรูป 43
รูปที่ 3.9 ลักษณะชิ้น Preform ส่วนฐาน 43
รูปที่ 3.10 ลักษณะชิ้น Preform ส่วนหุ้มผิว 43
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานที่อัดขึ้นรูป 2 ชั้น 44

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.12 ลักษณะชิ้นทดสอบค่าความแข็งของยาง 45
รูปที่ 3.13 ลักษณะการบ่มชิ้นทดสอบในตู้อบบ่มเร่ง 46
รูปที่ 3.14 ลักษณะชิ้นทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด 46
รูปที่ 4.1 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ 52
รูปที่ 4.2 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ 53
รูปที่ 4.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าแปรปรวนของข้อมูลของตัวแบบทางสถิติ 53
รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งของยางปูพื้นที่ปริมาณซิลิกาต่างๆ 54
รูปที่ 4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงของยางปูพื้นที่ปริมาณซิลิกาต่างๆ 55
รูปที่ 4.6 ค่าระยะยืดเมื่อขาดของยางปูพื้นที่ปริมาณซิลิกาต่างๆ 55
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความแข็งของยางปูพื้นสูตรต่างๆก่อนบ่มและหลังบ่ม 56
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงยางปูพื้นสูตรต่างๆก่อนบ่มและหลังบ่ม 57

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบระยะยืดเมื่อขาดของยางปูพื้นสูตรต่างๆก่อนบ่มและหลังบ่ม 58
รูปที่ 4.10 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางปูพื้นที่ปริมาณซิลิกาต่างๆ 58
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบการทนต่อก้นบุหรี่ 59

นิยามคำศัพท์

Rubber compound	=	ยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ พร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ
Mastication	=	ขั้นตอนการบดให้ยางนิ่ม เมื่อผสมสารเคมีลงไปจะทำให้สารเคมีนั้นให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางได้ง่ายขึ้น
phr	=	parts per hundred of rubber คือ หน่วยการผสมยางโดยคิดสัดส่วนปริมาณสารต่างๆ เมื่อเทียบกับยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) เรียกเป็น phr ใช้ในการออกสูตรยาง เช่น เติมกำมะถัน 2.5 phr หมายความว่า ถ้ามียาง 100 ส่วน จะเติมกำมะถัน 2.5 ส่วน
Cure time	=	ระยะเวลาการคงรูปของยาง
Scorch time	=	ระยะเวลาที่ยางสามารถไหลได้ก่อนที่จะเกิดการคงรูป
SBR	=	Styrene Butadiene Rubber คือ ยางสังเคราะห์ที่เกิดจากการโคพอลิเมอไรเซชันระหว่าง มอนอเมอร์สองชนิด คือ สไตรีนและบิวตาไดอีนแบบอิมัลชันเป็นยางสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด

BR = Butadiene Rubber คือ ยางสังเคราะห์ที่ผลิตจากปฏิกิริยาแบบพอลิเมอไรเซชันสารละลายซึ่งมีการจัดเรียงตัวได้ทั้งแบบ cis-1,4 แบบ tran-1,4 และแบบ vinyl-1,2 นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยางล้อ