บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบสมบัติของซิลิกาและเถ้าแกลบ

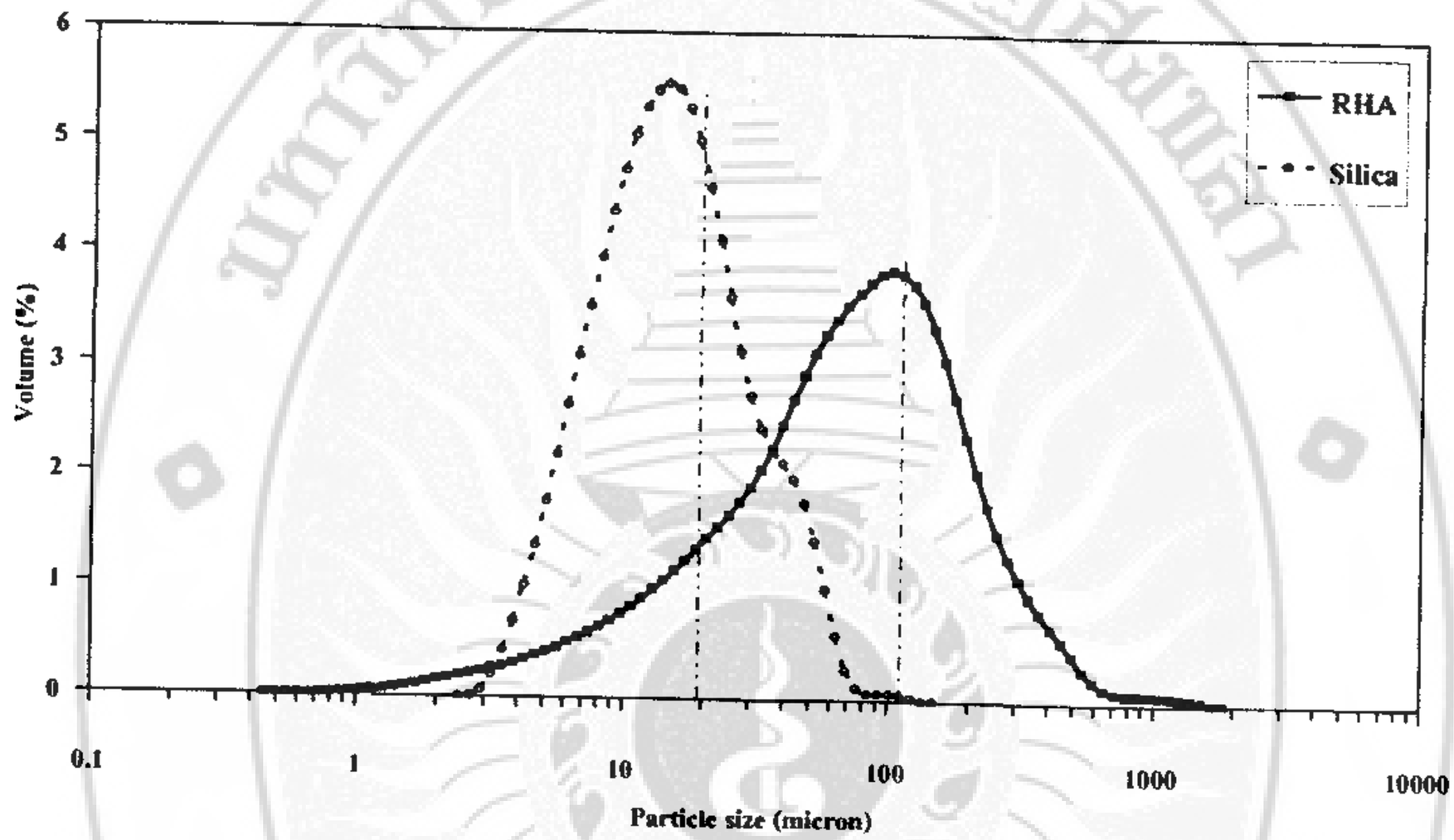
การเตรียมเถ้าแกลบทำโดยนำแกลบข้าวมาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที จากนั้นนำแกลบข้าวมาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้เตาเผาแล้วทิ้งให้เย็นในดิสซิเคเตอร์ นาน 30 นาที คำนวณปริมาณเถ้าแกลบ ซึ่งจะได้ปริมาณเถ้าแกลบเท่ากับ 89.67 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแกลบข้าว

จากการทดสอบขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบและซิลิกาด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer (COULTER LS 230) โดยวัดขนาดของอนุภาคสารที่กระจายตัวอยู่ในของเหลว (น้ำ) ด้วยความเร็ว 60% Model Garnet.rfd การวิเคราะห์ความเป็นผลึกโดยใช้เครื่องเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer, XRD) และความเป็นกรด-ด่าง ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติของซิลิกาและเถ้าแกลบ

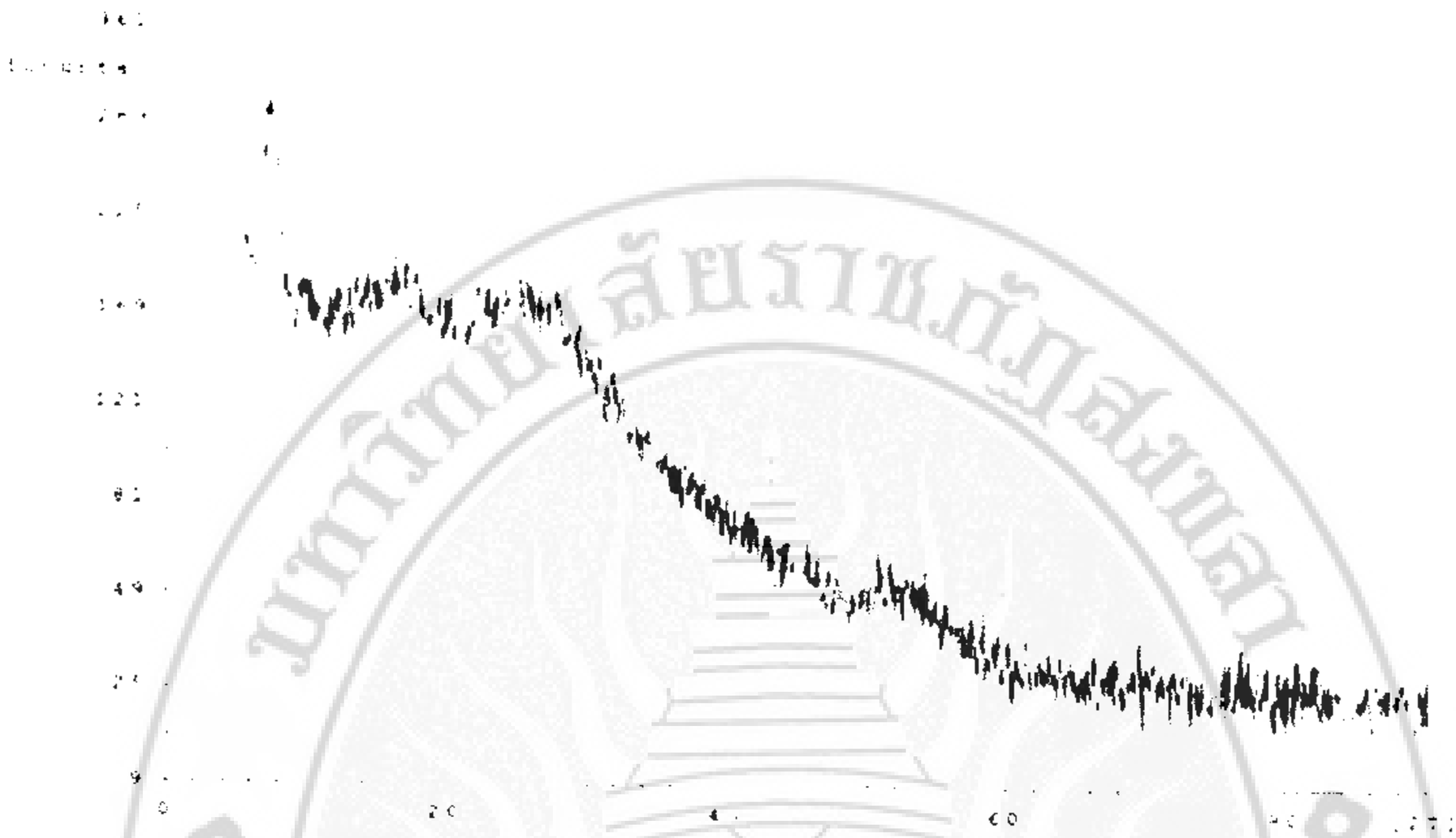
Parameters	Silica	RHA
Laser Particle Size Analyzer		
Particle size, range (micron)	2.423-146.8	0.452-1822
Particle size, mean (micron)	19.43	111.4
S.D. (micron)	0.176	1.146
X-Ray Diffraction	amorphous	amorphous

เถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 111.4 ไมครอน ซึ่งมีขนาดโตกว่าซิลิกาประมาณ 5.7 เท่า กล่าวคือซิลิกามีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 19.43 ไมครอน นอกจากนั้นเถ้าแกลบยังมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคกว้างกว่าซิลิกาแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยที่เถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.452 – 1822 ไมครอน ส่วนซิลิกามีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2.423 – 146.8 ไมครอน



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบและซิลิกา

จากรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 จากการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของเถ้าแกลบและซิลิกา โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ พบว่าเถ้าแกลบและซิลิกามีลักษณะเป็นอสัณฐาน (amorphous) เช่นเดียวกัน โดยที่ซิลิกามีสภาพเป็นกลาง (pH เท่ากับ 6.70) ในขณะที่เถ้าแกลบที่เตรียมได้มีสภาพเป็นด่างมีค่า pH เท่ากับ 9.54



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของเถ้าแกลบ โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

รูปที่ 4.3 การวิเคราะห์ความเป็นผลึกของซิลิกา โดยใช้เครื่องมือเอ็กซ์เรย์ ดิฟแฟรกโตมิเตอร์

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.2 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติม

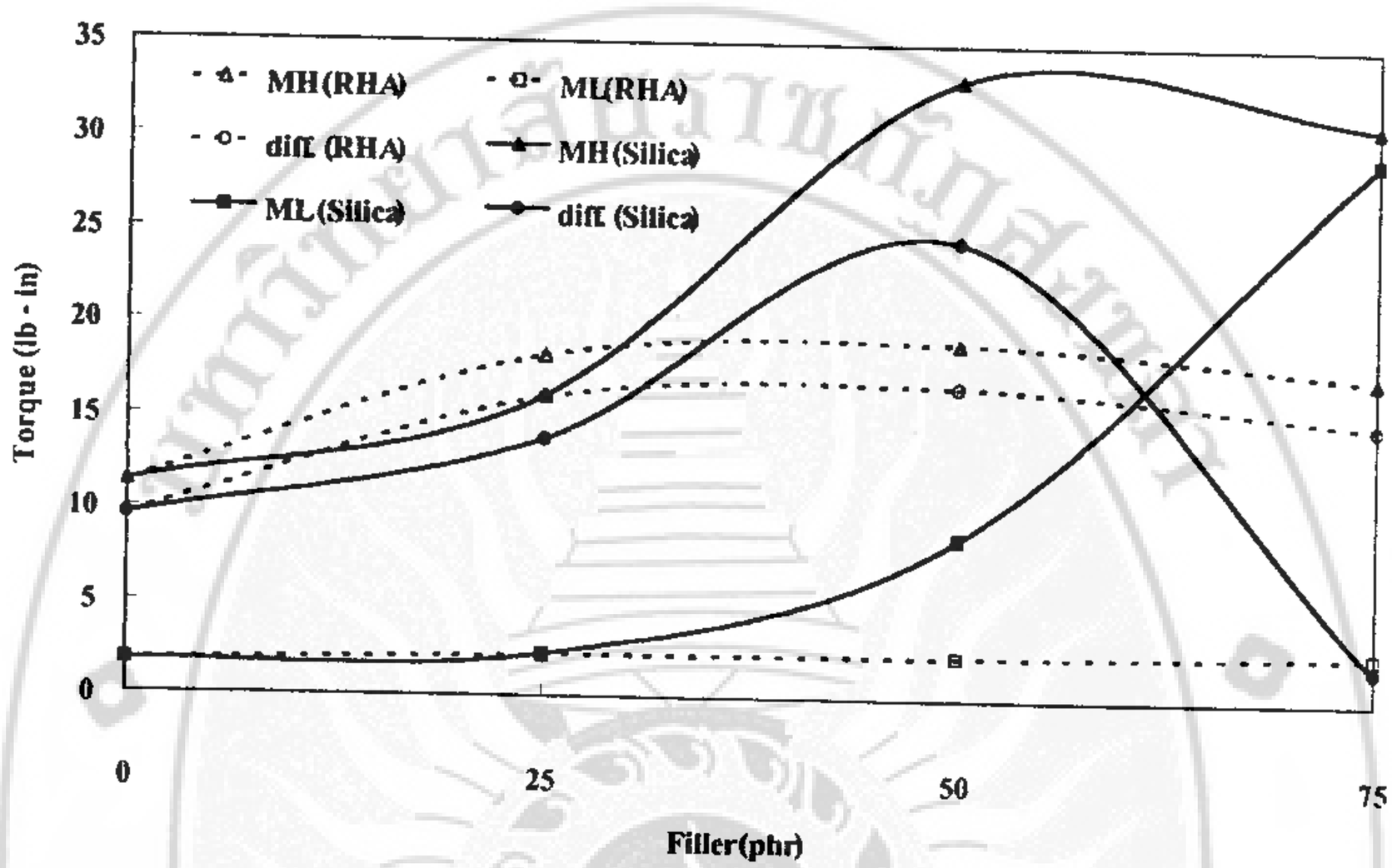
จากการศึกษาการใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ซึ่งใช้ในปริมาณ 0, 25. 50 และ 75 phr เปรียบเทียบกับการใช้ซิลิกาในปริมาณเท่ากัน โดยทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติม

Properties	RHA (phr)				Silica (phr)			
	0	25	50	75	0	25	50	75
Max. Torque, lb-in	11.40	18.20	19.00	17.30	11.40	16.10	33.10	30.80
Min. Torque, lb-in	1.80	2.20	2.30	2.50	1.80	2.30	8.60	29.0
Diff. Torque, lb -in	9.60	16.00	16.70	14.80	9.60	13.80	24.50	18.00
Scorch Time , min	3.85	1.20	1.30	1.20	3.85	1.90	1.68	2.00
Cure Time, min	15.40	7.70	6.50	7.00	15.40	9.63	8.98	7.50
Cure Rate Index, 1/min	8.66	15.38	19.23	17.24	8.66	12.94	13.70	18.80
Density, g/cm^3	0.878	1.070	1.173	1.231	0.878	1.054	1.138	1.226
300% Modulus, MPa	1.01	1.74	2.80	2.07	1.01	1.53	2.03	3.36
Tensile strength, MPa	7.94	15.45	19.92	10.57	7.94	15.45	19.92	10.57
Elongation at break, %	708	650	550	442	708	667	592	508
Tear strength, N/mm	23.78	26.90	27.64	27.15	23.78	26.01	31.57	39.36
Hardness, Shore A	28	35	45	47	28	35	55	77
Aged @ 100^0C, 72 hrs.								
Tensile strength, MPa	1.97	2.50	3.55	2.24	1.97	3.16	5.54	4.10
Elongation at break, %	258	325	392	287	258	295	280	58
Tensile strength Change (%)	75.19	83.82	82.18	78.81	75.19	80.61	70.84	70.69
Elongation at break Change (%)	63.56	50.00	28.73	35.07	63.56	55.77	52.70	88.58
Hardness, Shore A	16	25	30	34	16	25	50	77

4.2.1 ลักษณะในการวัลคาไนซ์

4.2.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด

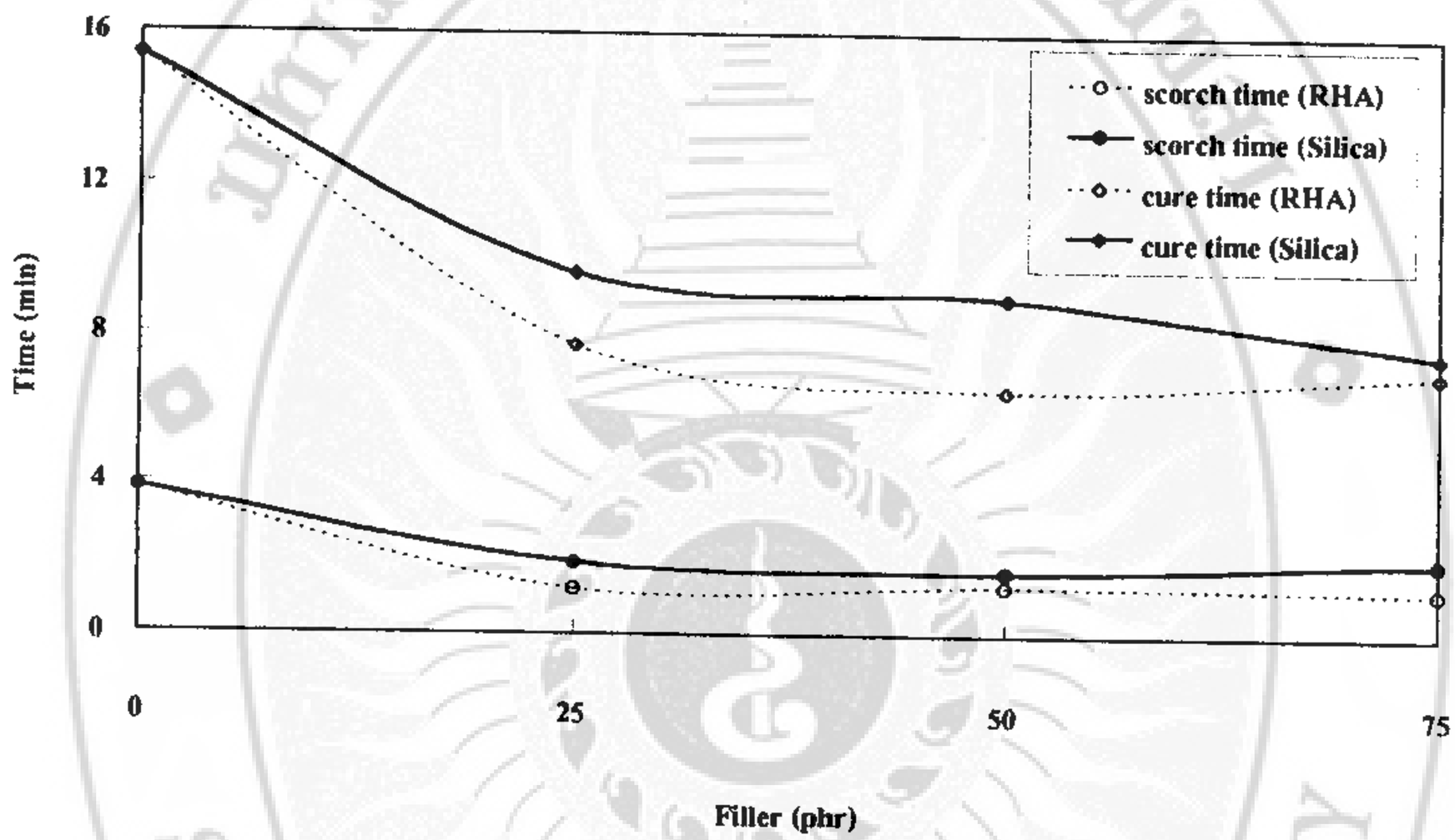


รูปที่ 4.4 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.4 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้เป็นสารตัวเติม การใช้เถ้าแกลบและซิลิกาที่ 25 phr จะให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุดใกล้เคียงกัน เนื่องจากเถ้าแกลบมีขนาดอนุภาคใหญ่จึงทำให้มีค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดต่ำของยางธรรมชาติที่ใช้ เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีแนวโน้มของค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบที่ใช้ (นริศราและคณะ, 2540) และในการใช้เถ้าแกลบในปริมาณมากกว่า 50 phr จะทำให้ค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดต่ำลง และเมื่อพิจารณาปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นพบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และผลต่างระหว่าง

ค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดเพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้ในขณะที่ยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาที่ใช้จะมีขนาดอนุภาคเล็กและกระจายตัวได้ดีจึงทำให้ยางคอมเปานด์ที่ได้แข็งกว่ายางคอมเปานด์ที่ใช้เถ้าแกลบจึงทำให้มีค่าแรงบิดสูงสุด ค่าแรงบิดต่ำสุด และค่าผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดสูงกว่า (พรพรรณ, 2528)

4.2.1.2 ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

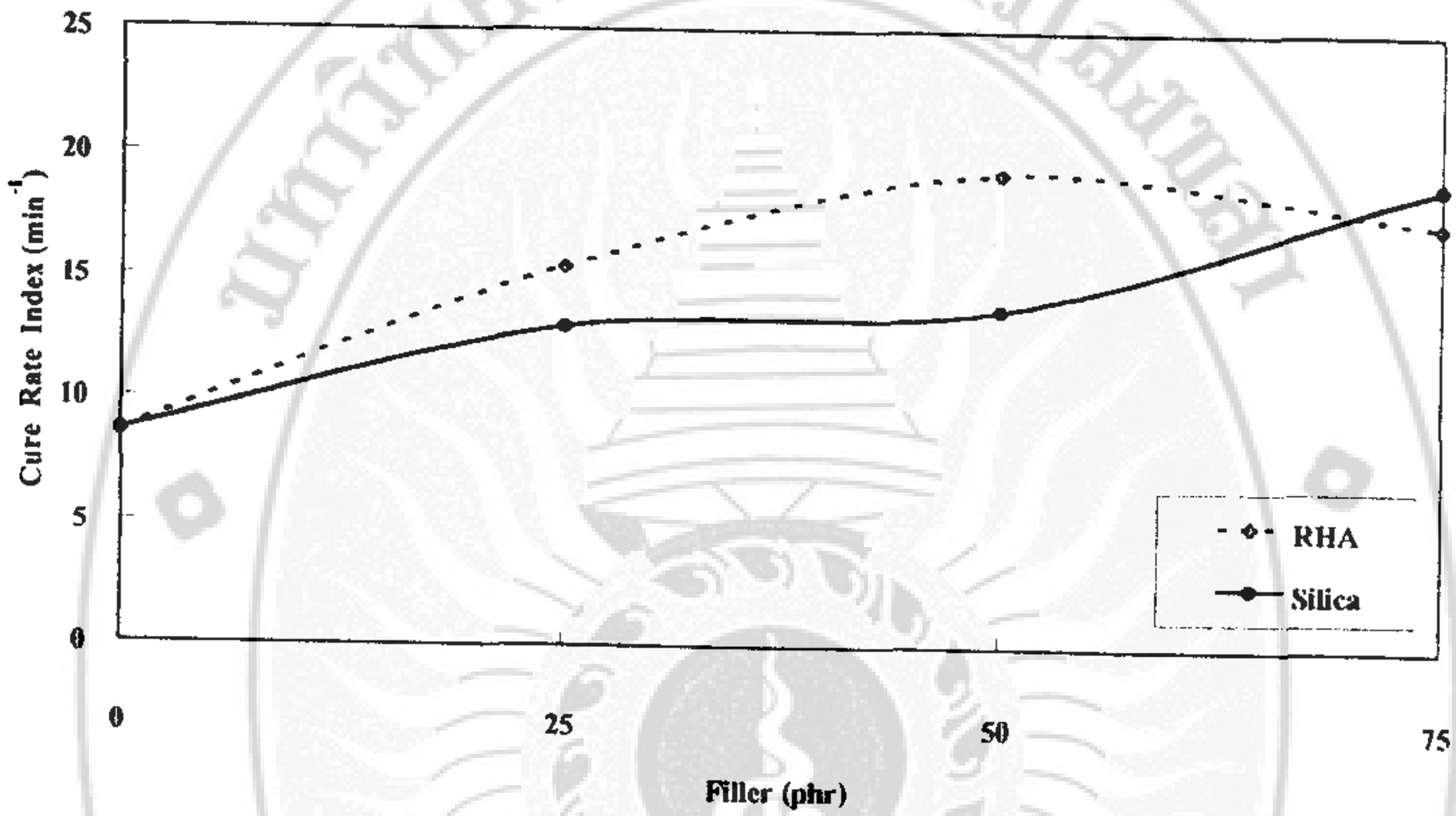


รูปที่ 4.5 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 พบว่าการใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติทำให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้เร็วกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติม และสูตรยางที่ใช้เถ้าแกลบจะมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้ใกล้เคียงกับการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมแต่การใช้เถ้าแกลบจะให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้เร็วกว่า จากรูปที่ 4.7 สังเกตได้ว่าระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้จะขึ้นกับปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มจนถึงที่จุด 50 phr ก็เริ่มวัลคาไนซ์ช้าลง ส่วนการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมนั้นระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะ

เวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้จะเร็วขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น การใช้เถ้าแกลบและซิลิกาในปริมาณ 75 phr จะให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์และระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้ใกล้เคียงกันทั้งนี้เนื่องจากเถ้าแกลบจะมี pH เป็นด่างจึงทำให้มีระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็ว

4.2.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

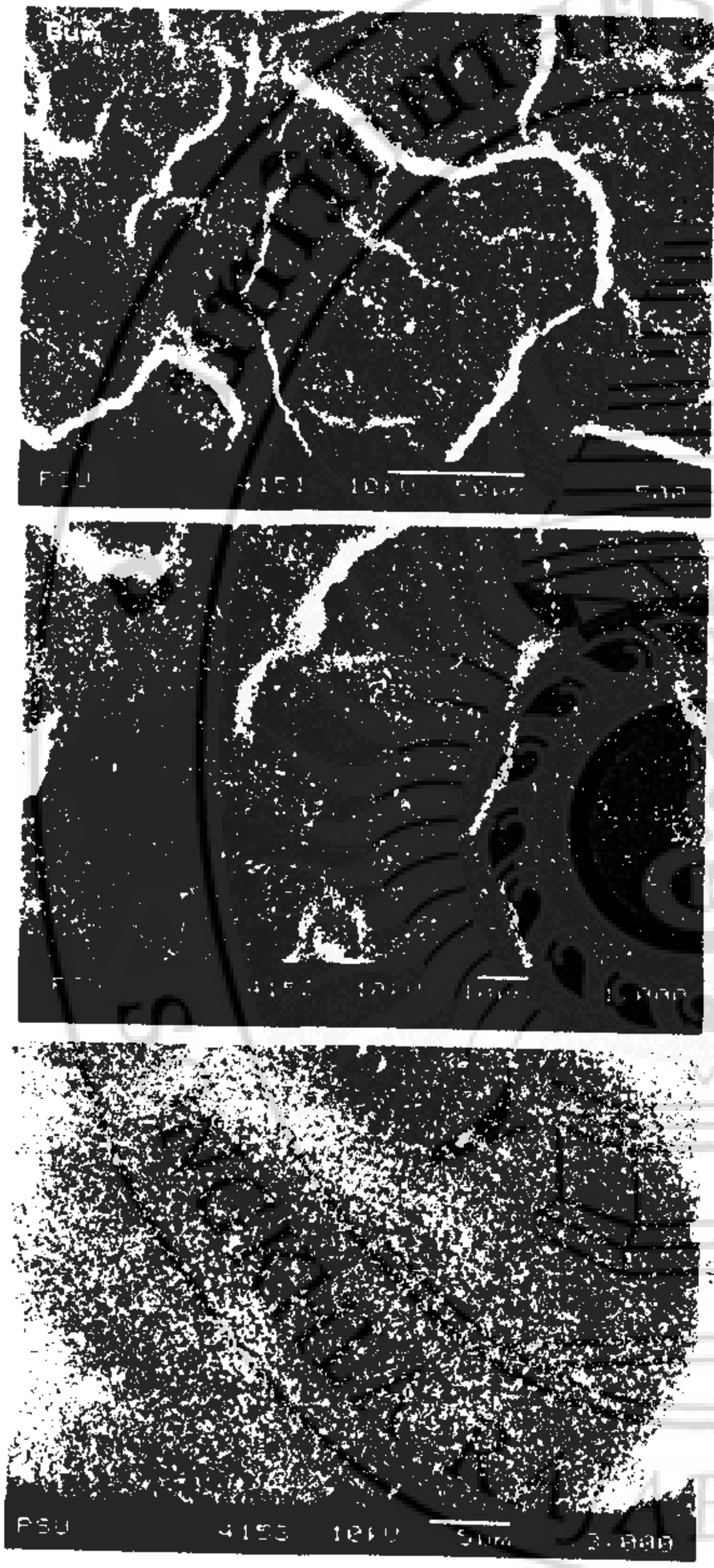


รูปที่ 4.6 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.6 พบว่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์สูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติม ซึ่งดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่เถ้าแกลบที่ปริมาณ 25 และ 50 phr จะมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์สูงกว่าการใช้ ซิลิกาที่ปริมาณเดียวกันและที่ปริมาณ 75 phr ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมที่มี pH เป็นด่างจึงทำให้มีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์เร็ว (พรพรรณ, 2528) เมื่อพิจารณาปริมาณการใช้ซิลิกาพบว่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้ซิลิกาจะดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์เร็วขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่ม เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กและกระจายตัวในยางได้ดีทำให้ยางมีความหนาแน่นและมีช่องว่างภายในโมเลกุลยางลดลงเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ได้เร็ว (Yoshihiro and Akira., n.d.)

4.2.2 สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphological properties)

นำยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.2 มาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วหัก จากนั้นนำไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ได้ผลการทดสอบของยางที่ไม่มีสารตัวเติมดังรูปที่ 4.4



ก. 500x

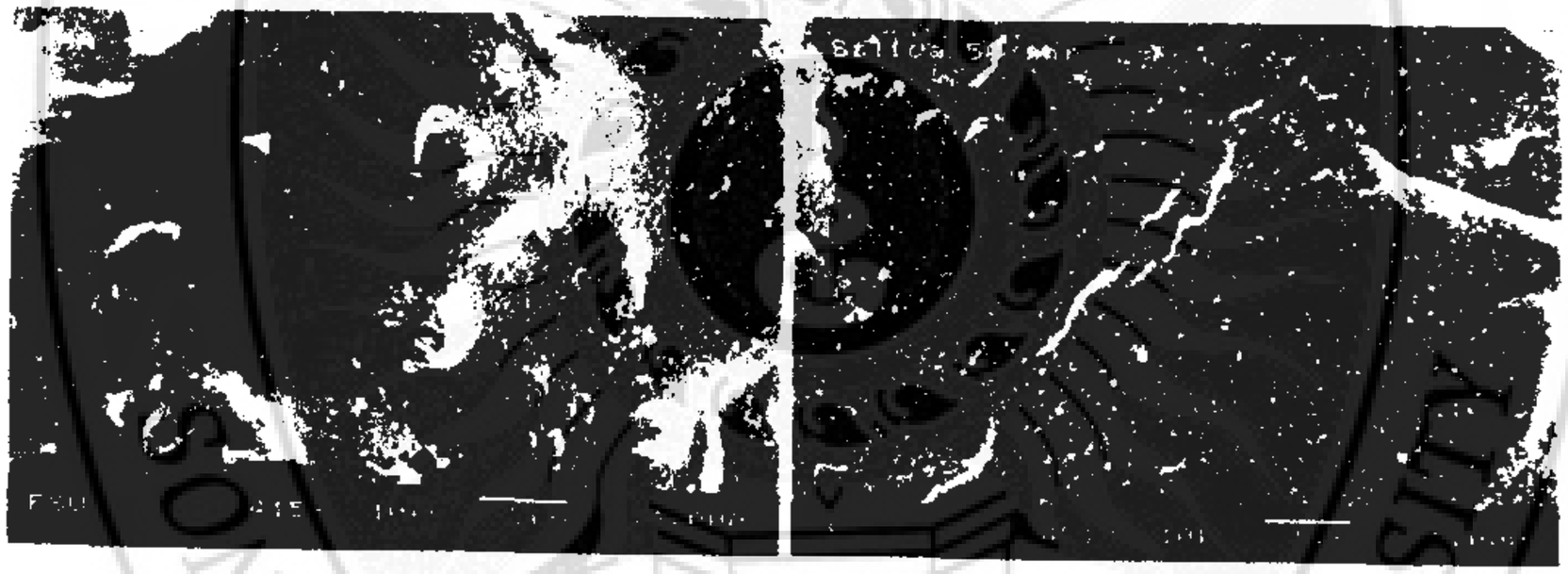
ข. 1000x

ค. 3000x

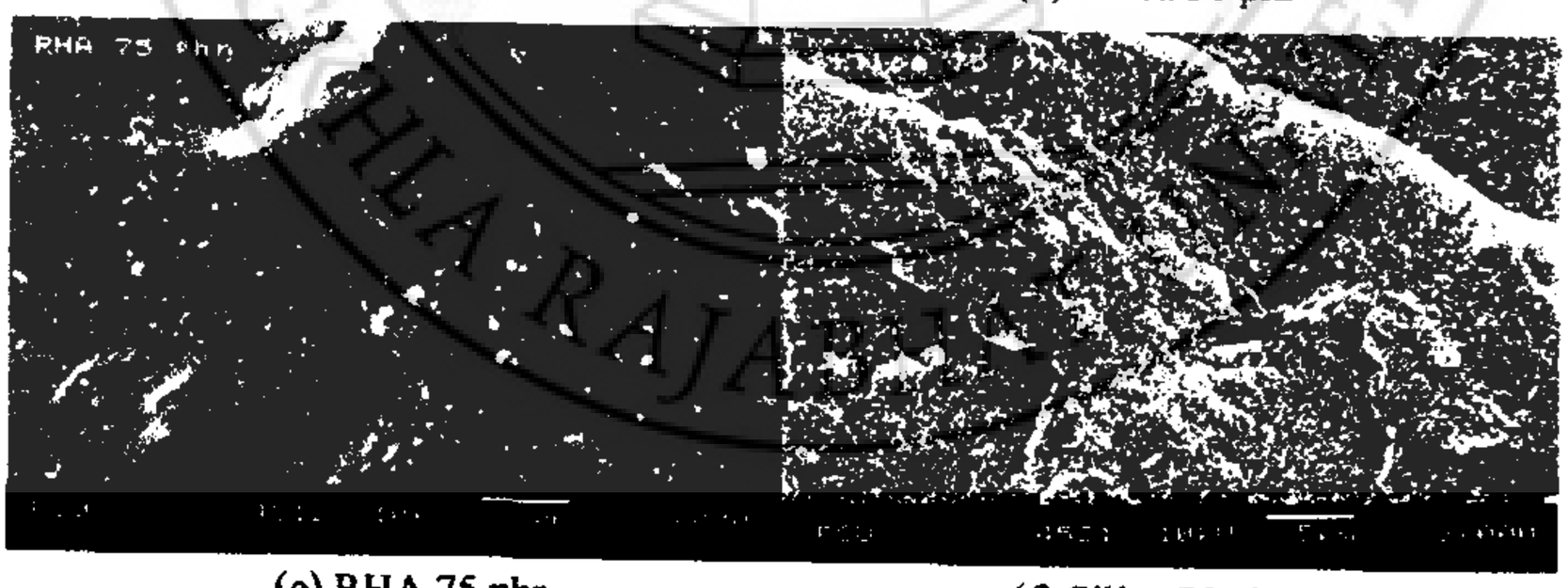
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของยางที่ไม่มีสารตัวเติม กำลังขยาย 500 , 1000 และ 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.7 จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กำลังขยาย 500 , 1000 และ 3000 เท่า พบว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมจะมีการกระจายตัวของสารเคมีดี ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีการกระจายตัวของซิลิกาได้ดีกว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม ที่ปริมาณการใช้ 25, 50 และ 75 phr ดังรูปที่ 4.8

(a) RHA 25 phr (b) Silica 25 phr



(c) RHA 50 phr (d) Silica 50 phr

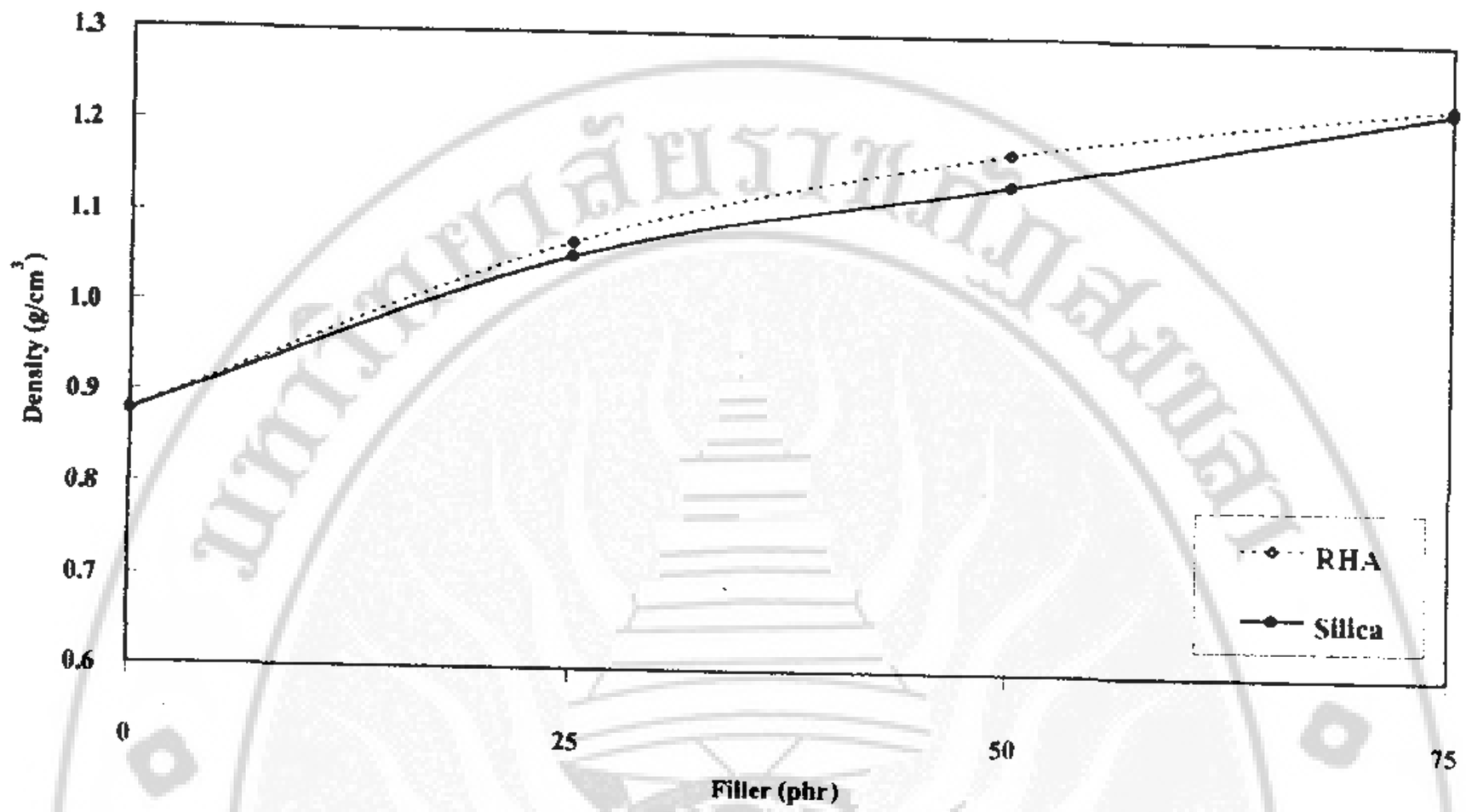


(e) RHA 75 phr (f) Silica 75 phr

รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของยางผสมเถ้าแกลบและซิลิกาในปริมาณ 25, 50 และ 75 phr

4.2.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

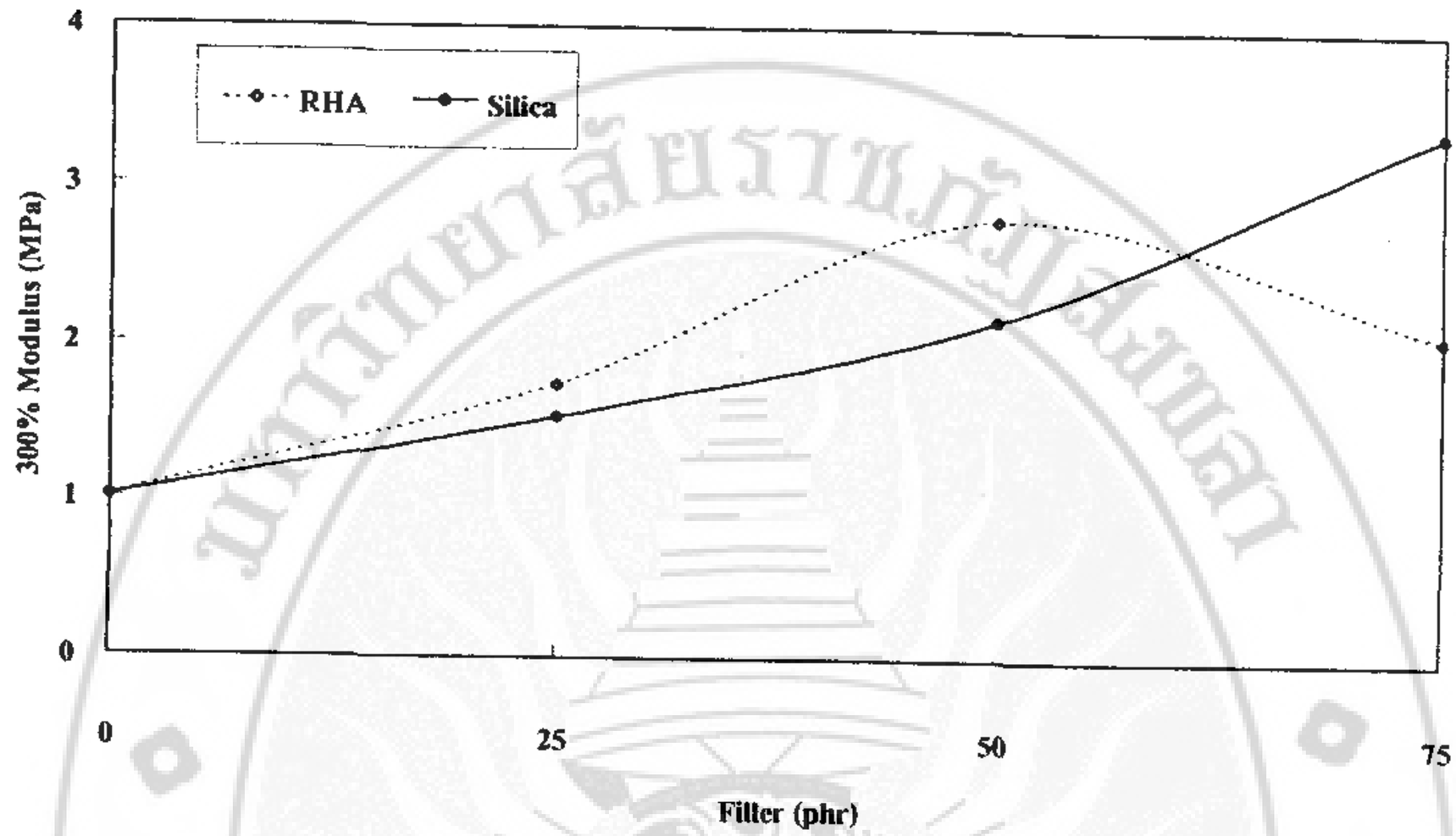
4.2.3.1 ความหนาแน่นของยาง



รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9 พบว่าค่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่ายางที่ไม่มีสารตัวเติม เมื่อพิจารณาการใช้เถ้าแกลบและซิลิกาที่ปริมาณ 25, 50 และ 75 phr จะให้ค่าความหาแน่นใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มเนื่องจากสารตัวเติมจะเข้าไปลดช่องว่างภายในโมเลกุลยางทำให้ยางมีความหนาแน่นมากขึ้น ดังนั้นความหนาแน่นของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้ และในยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะให้ค่าความหนาแน่นสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกาเนื่องจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าขนาดอนุภาคของซิลิกา

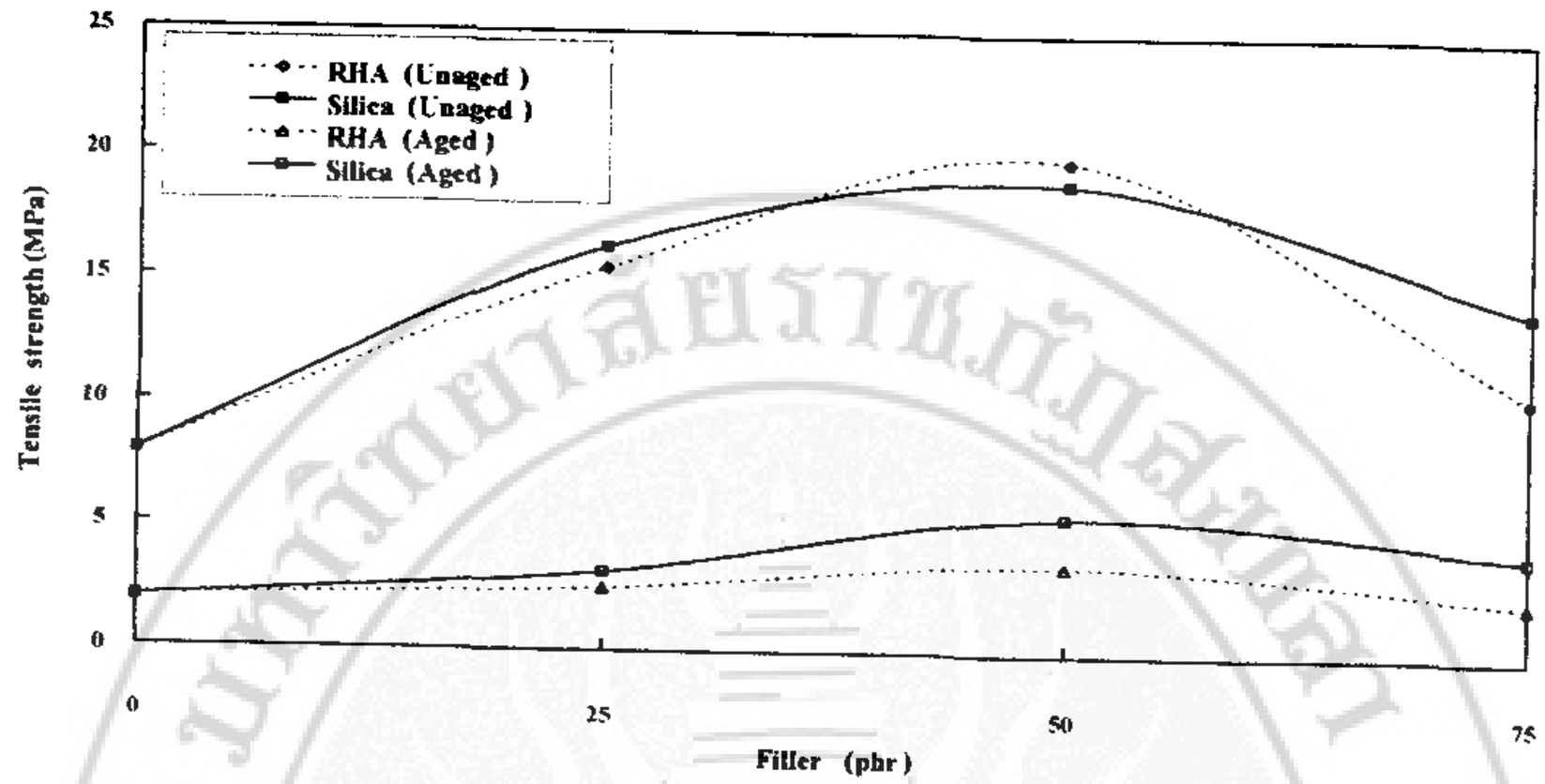
4.2.3.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์



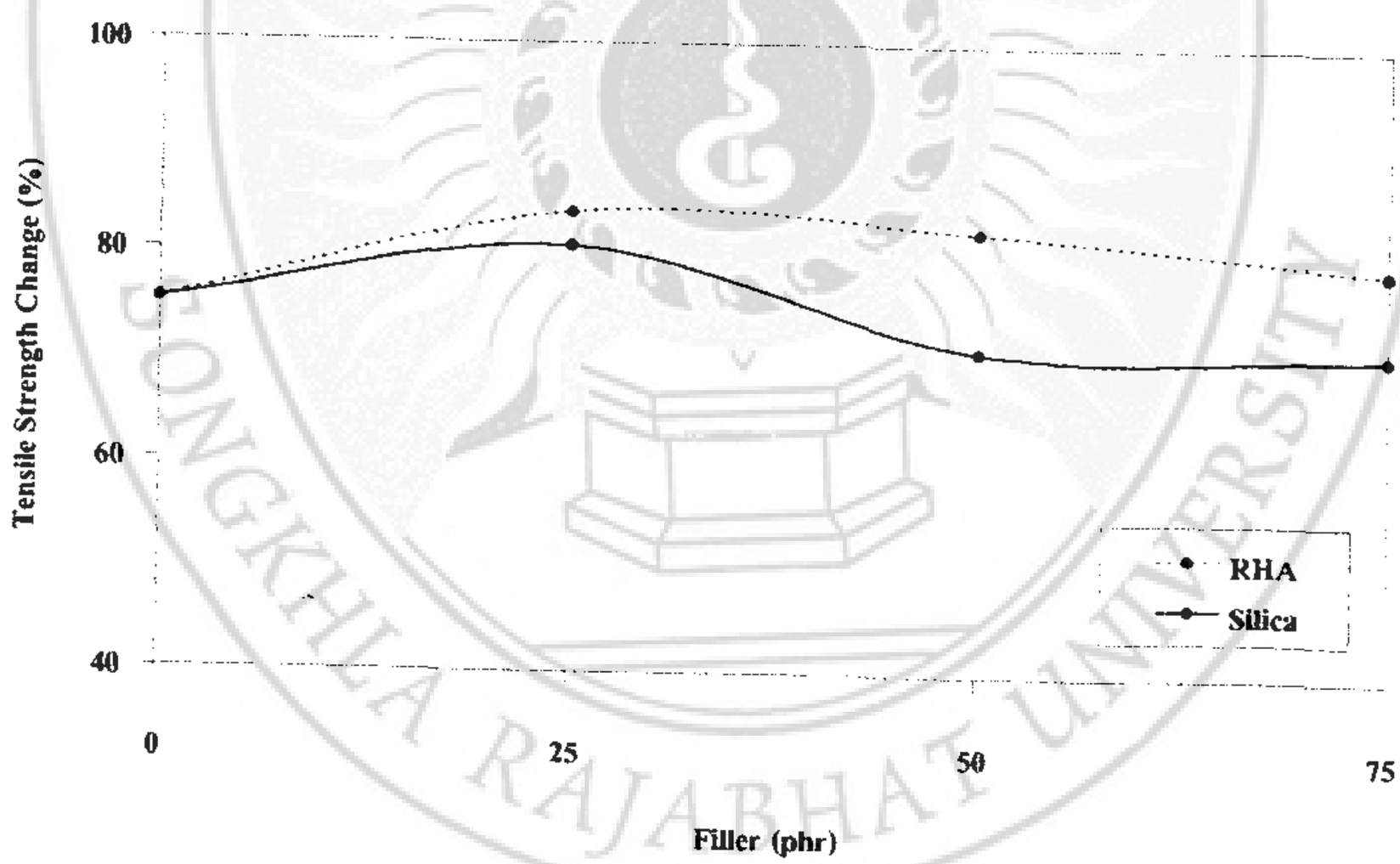
รูปที่ 4.10 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.10 พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมมีค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ สูงกว่ายางที่ไม่มีสารตัวเติม และพบว่าการใช้เถ้าแกลบให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์เพิ่มสูงขึ้นจนถึงปริมาณ 50 phr ก็จะลดลงตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่ม ส่วนยางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาจะให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่ใช้ และเมื่อพิจารณาที่ปริมาณการใช้เถ้าแกลบ ซิลิกา 25 phr พบว่าสารตัวเติมทั้งสองชนิดจะให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงกันดังรูปที่ 4.10 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าซิลิกาทำให้มีการกระจายตัวในยางได้ไม่ดี ส่วนซิลิกาจะมีขนาดอนุภาคเล็กและกระจายตัวในยางได้ดีจึงมีค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้

4.2.3.3 ความต้านทานต่อแรงดึง



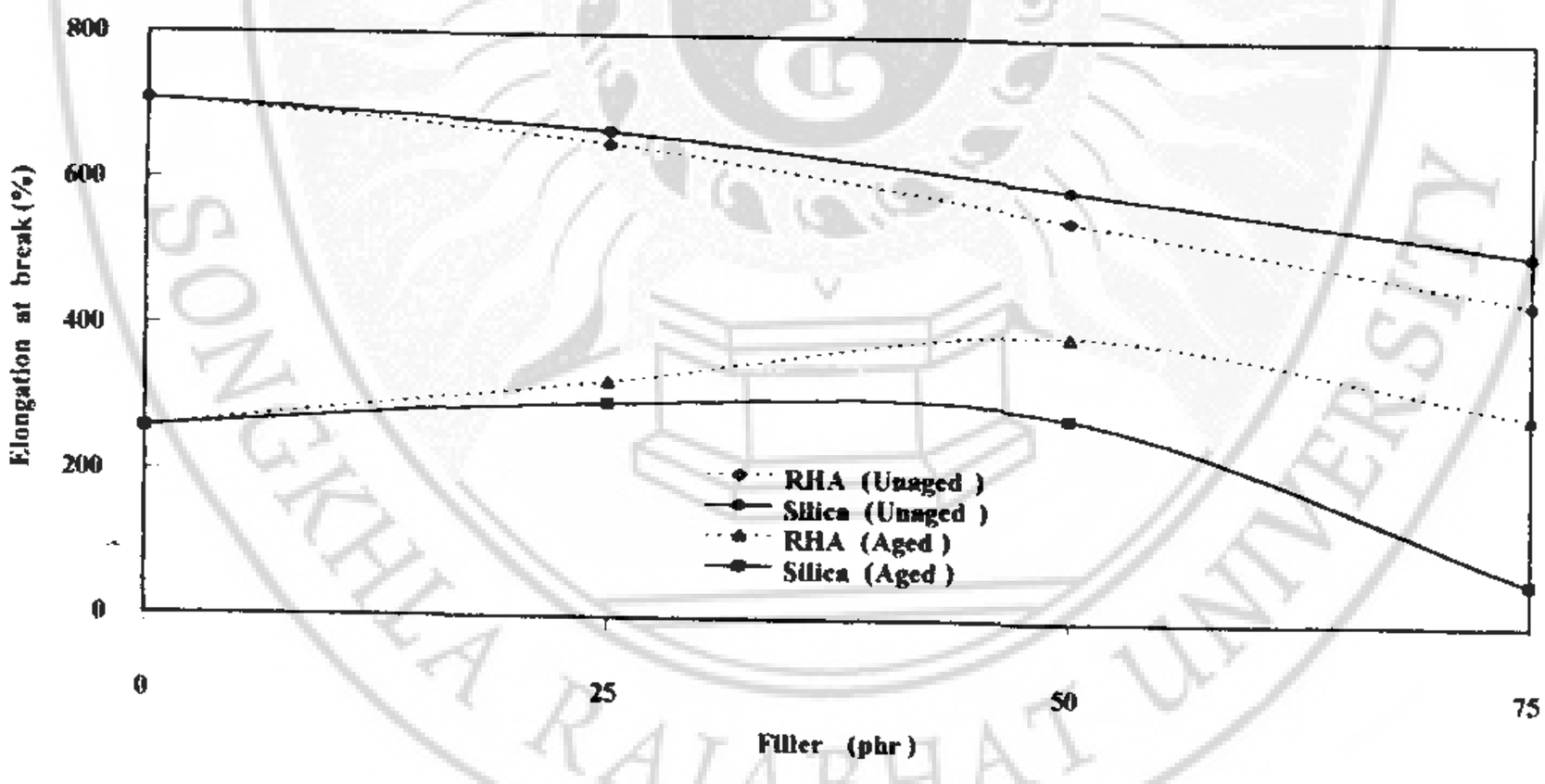
รูปที่ 4.11 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.11, 4.12 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งสูงกว่ายางที่ไม่มีสารตัวเติม และพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกามีค่าความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกันและความต้านทานต่อแรงดึงของยางจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบและซิลิกาที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้เถ้าแกลบและซิลิกาในปริมาณที่สูงกว่า 50 *phr* จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเนื่องจากการใช้สารตัวเติมในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ยางมีปริมาณเนื้อยางลดลง พันธะของยางเกิดการอิ่มตัวและโมเลกุลของสารตัวเติมเกิดการเชื่อมโยงกันเองทำให้เกิดจุดอ่อนขึ้นภายในโมเลกุลยางส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของยางลดลง จากรูปที่ 4.11 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่งสูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติม เนื่องจากเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าซิลิกา ดังจะเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาในรูปที่ 4.12 โดยยางที่ใช้ซิลิกาจะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงน้อยกว่ายางที่ใช้เถ้าแกลบ

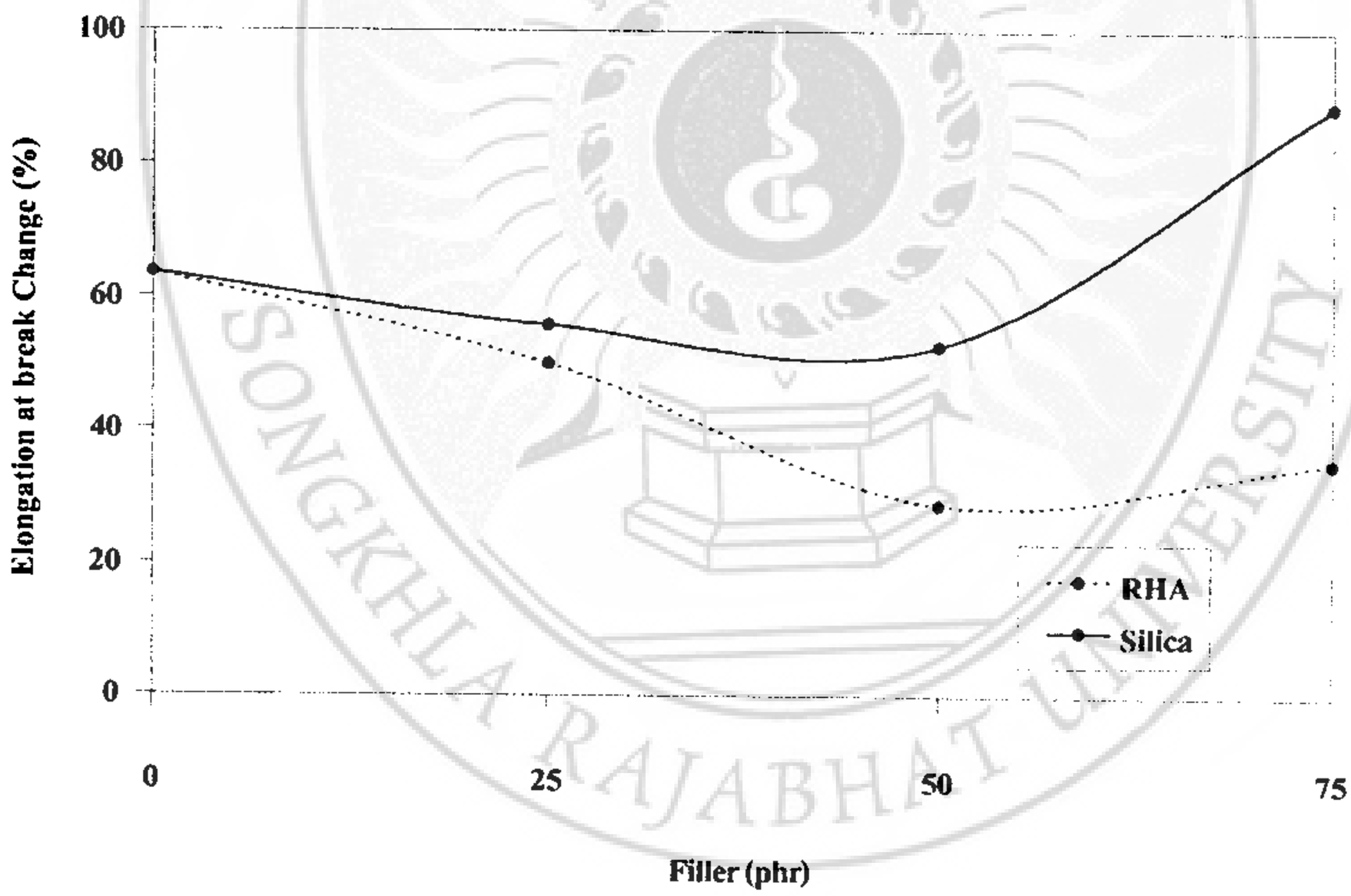
4.2.3.4 ความสามารถในการยืด



รูปที่ 4.13 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

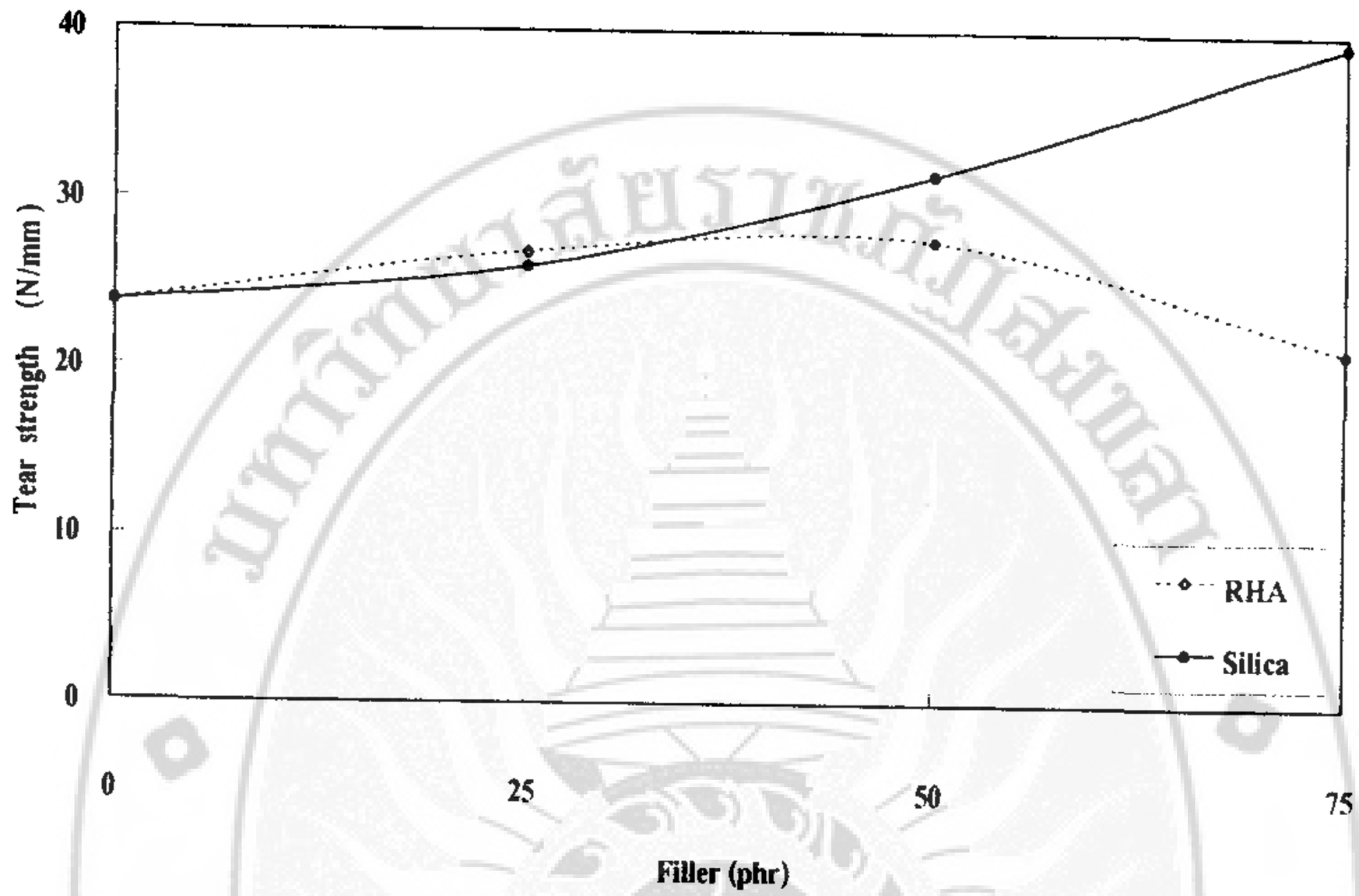
จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.13 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดก่อนบ่มเร่งต่ำกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติมและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพบว่าเมื่อปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นจะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาดลดลง เนื่องจากปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ยางมีปริมาณของเนื้อยางลดลงจึงให้ยางมีความสามารถในการยืดได้น้อยลง ส่วนยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งสูงกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติมและยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งใกล้เคียงกับยางที่ไม่ใช้สารตัวเติม โดยพบว่าเมื่อใช้ซิลิกาในปริมาณที่สูงกว่า 50 phr จะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งลดลง

จากรูปที่ 4.14 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการยืดจนขาดต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ทำให้ยางมีความสามารถในการยืดได้น้อยและเมื่อใช้ในปริมาณสูงที่ขึ้นจะทำให้ยืดได้น้อยลง



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงของค่าความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

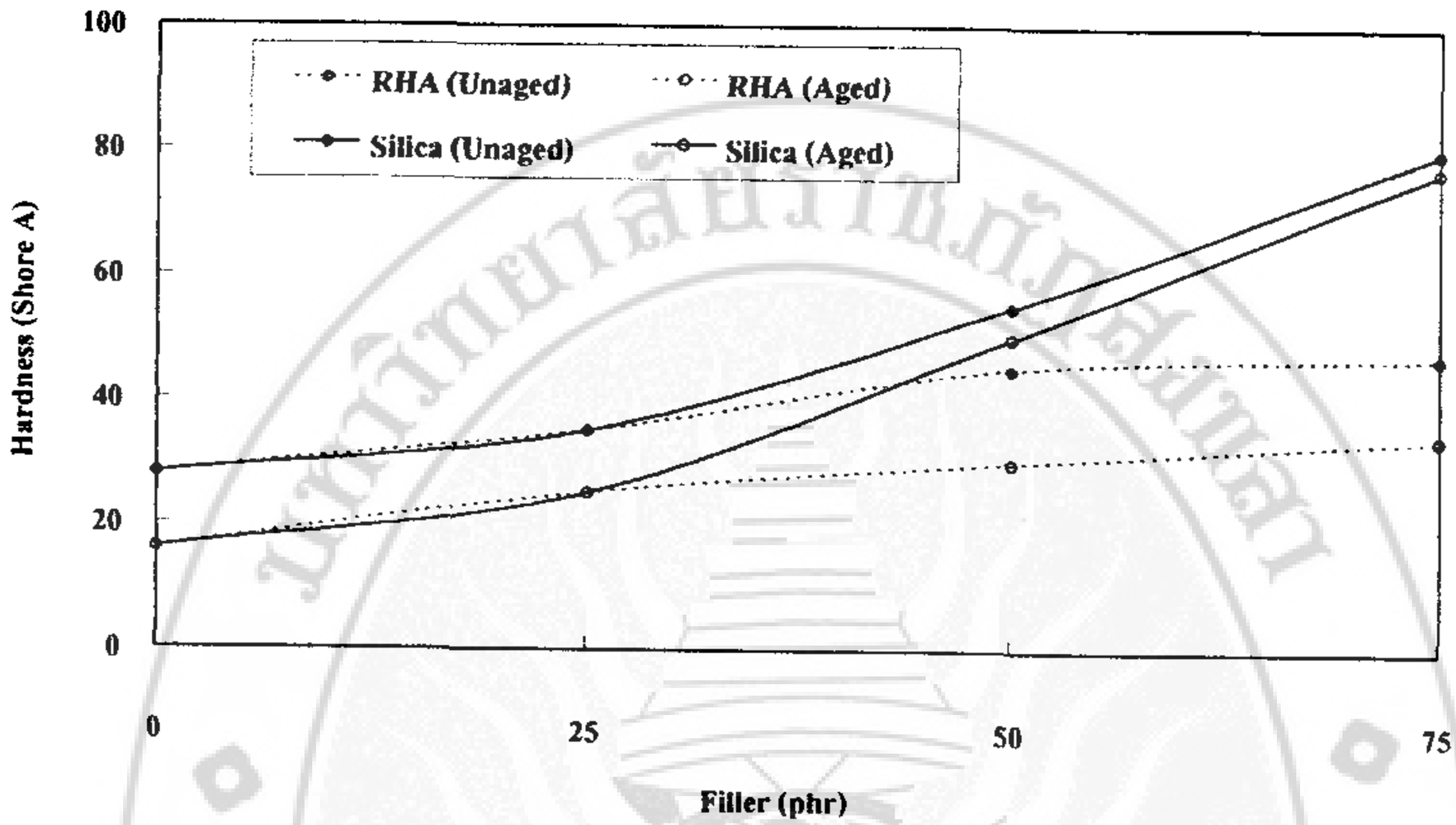
4.2.3.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.15 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติม ในปริมาณ 0, 25 , 50 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.15 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมเล็กน้อย จากรูปที่ 4.15 สังเกตได้ว่าที่ปริมาณ 0 - 50 phr ของยางที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาจะมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดใกล้เคียงกันและพบว่าการใช้เถ้าแกลบในปริมาณ 25 phr จะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าการใช้ซิลิกา แต่เมื่อใช้เถ้าแกลบในปริมาณสูงกว่า 25 phr ทำให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำและต่ำกว่าการใช้ซิลิกา ส่วนยางที่ใช้ซิลิกาจะมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มเนื่องจากซิลิกาจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าขนาดอนุภาคของเถ้าแกลบจึงทำให้เกิดการเชื่อมโยงกับโมเลกุลของยางได้ดีส่งผลให้มีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าและเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาที่ใช้ (บุญธรรมและปรีชา, 2538)

4.2.3.6 ความแข็ง



รูปที่ 4.16 ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 25, 50 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.16 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบและซิลิกาเป็นสารตัวเติมก่อนและหลังบ่มเร่งจะให้ค่าความแข็งสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม และสังเกตได้ว่ายางธรรมชาติที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งสูงกว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ โดยความแข็งของยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกา เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก และเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าจึงมีความหนาแน่นของพันธะโมเลกุลน้อยกว่าดังนั้นจึงมีค่าความแข็งต่ำกว่ายางที่ใช้ซิลิกา (บุญธรรมและปรีชา, 2538)

4.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

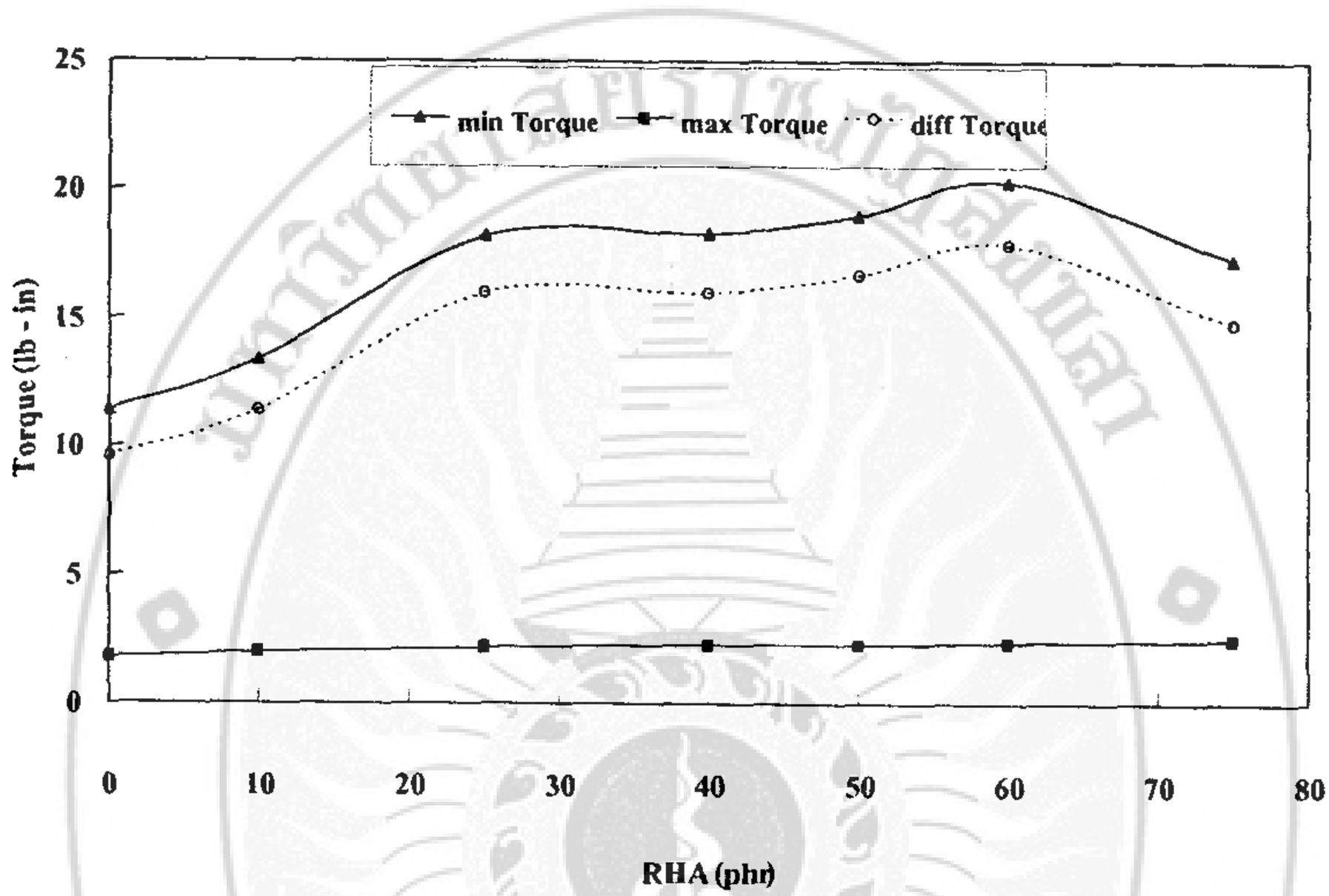
จากการศึกษาการใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ ซึ่งใช้ในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr โดยทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆ

Properties	RHA (phr)						
	0	10	25	40	50	60	75
Max. Torque, lb-in	11.40	13.40	18.20	18.30	19.00	20.30	17.30
Min. Torque, lb-in	1.80	2.00	2.20	2.30	2.30	2.40	2.50
Diff.Torque,lb -in	9.60	11.40	16.00	16.00	16.70	17.90	14.80
Scorch Time , min	3.85	1.66	1.20	1.20	1.30	0.930	1.20
Cure Time, min	15.40	9.80	7.70	6.60	6.50	6.25	7.00
Cure rate index, 1/min	8.66	12.29	15.38	18.48	19.23	18.8	17.24
Density, g /cm^3	0.878	1.008	1.070	1.133	1.173	1.182	1.231
300 % Modulus, MPa	1.01	0.77	1.74	1.97	2.80	2.85	2.07
Tensile strength, MPa	7.94	8.00	15.45	16.79	19.92	17.74	10.57
Elongation at break, %	708	683	650	600	550	533	442
Tear strength, MPa	23.78	26.95	26.90	27.13	27.64	28.94	21.15
Hardness, Shore A	28	30	35	40	45	45	47
Aged @ 100^{0}C, 72 hrs.							
Tensile strength, N/mm	1.97	1.59	2.50	3.30	3.55	3.40	2.24
Tensile strength Change (%)	75.19	80.13	83.82	80.35	82.18	80.83	78.81
Elongation at break, %	258	250	325	483	392	380	287
Hardness, Shore A	16	20	25	28	30	34	34

4.3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

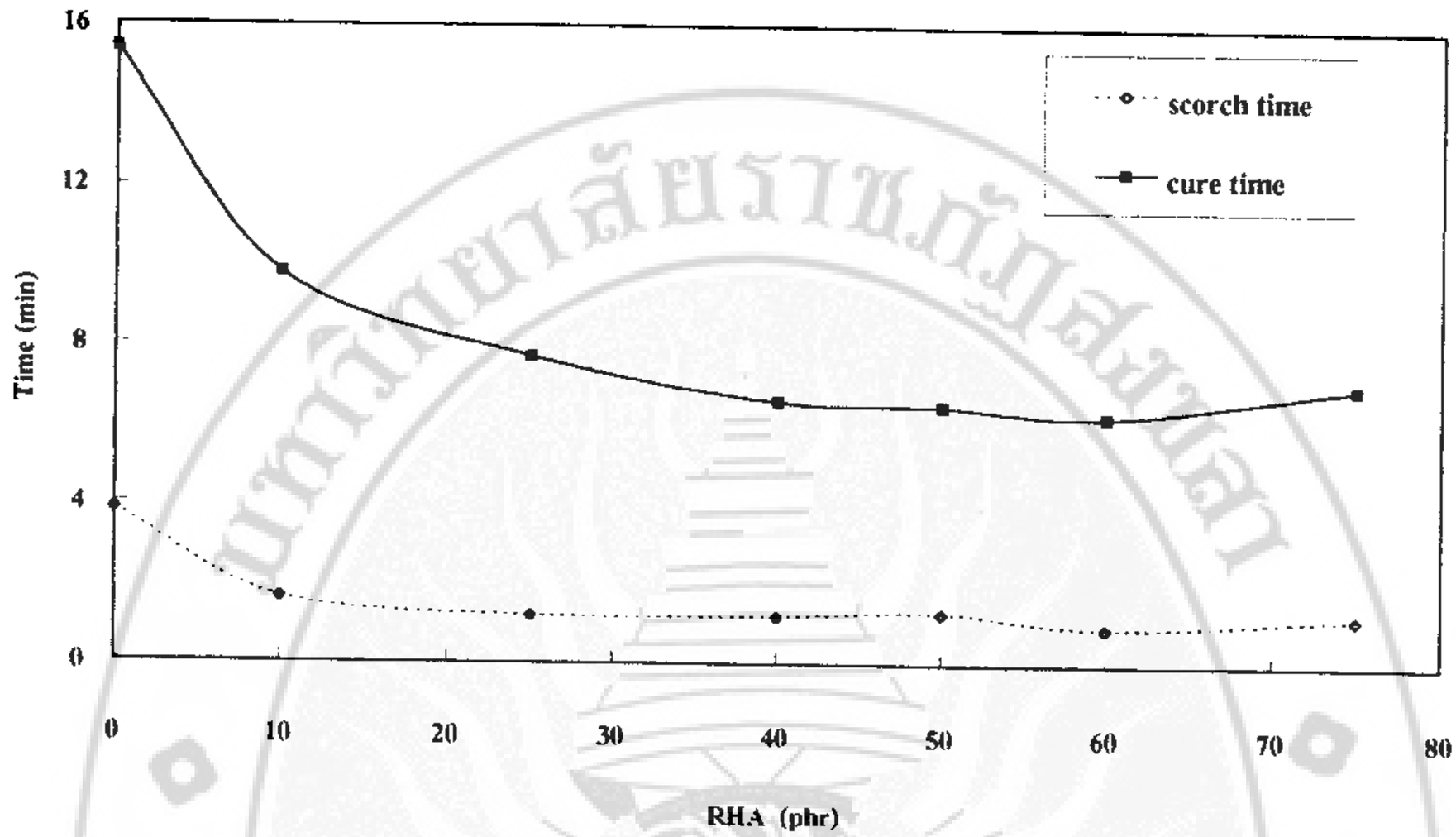
4.3.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ,ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด



รูปที่ 4.17 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50 , 60 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.17 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะให้ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดสูงกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติม โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้นและค่าแรงบิดต่ำสุดของยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากสารตัวเติมเป็นสารที่เมื่อเติมลงในยางแล้วจะทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น (บุญธรรมและปรีชา, 2538)

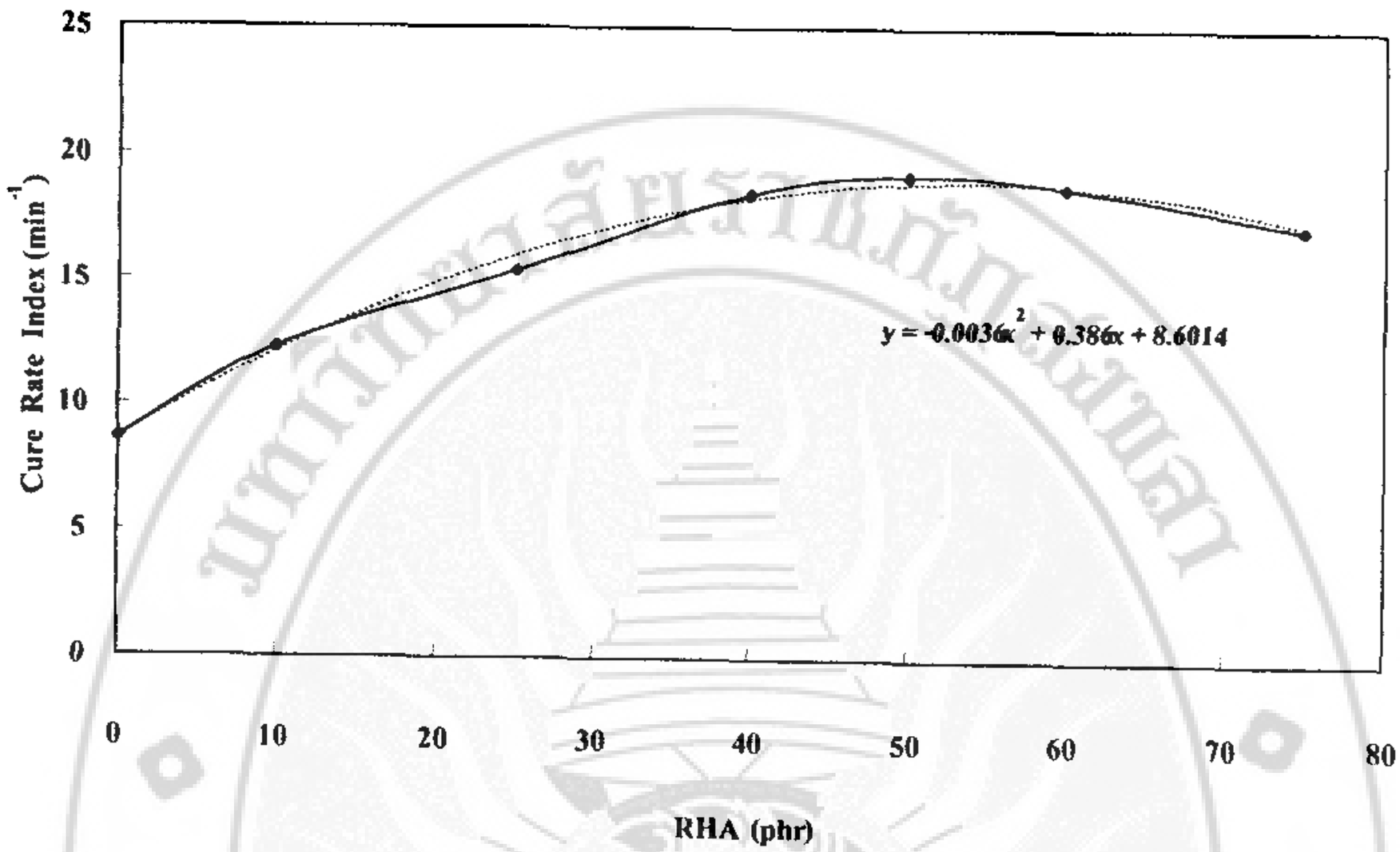
4.3.1.2 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์



รูปที่ 4.18 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.18 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติม โดยยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบจะมีระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อใช้เถ้าแกลบในปริมาณ 40 - 60 phr จะให้ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นปริมาณการใช้เถ้าแกลบที่ให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วที่สุด ส่วนระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบจะมีเวลาใกล้เคียงกันที่ปริมาณ 20 - 75 phr เนื่องจากเถ้าแกลบจะมี silane — coupling อยู่ภายในโมเลกุลจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ ในโมเลกุลของยางดีขึ้น (Yoshihiro and Akira, n.d.) และเถ้าแกลบมี pH เป็นด่างจึงทำให้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางเร็วขึ้นตามปริมาณของเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น

4.3.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์

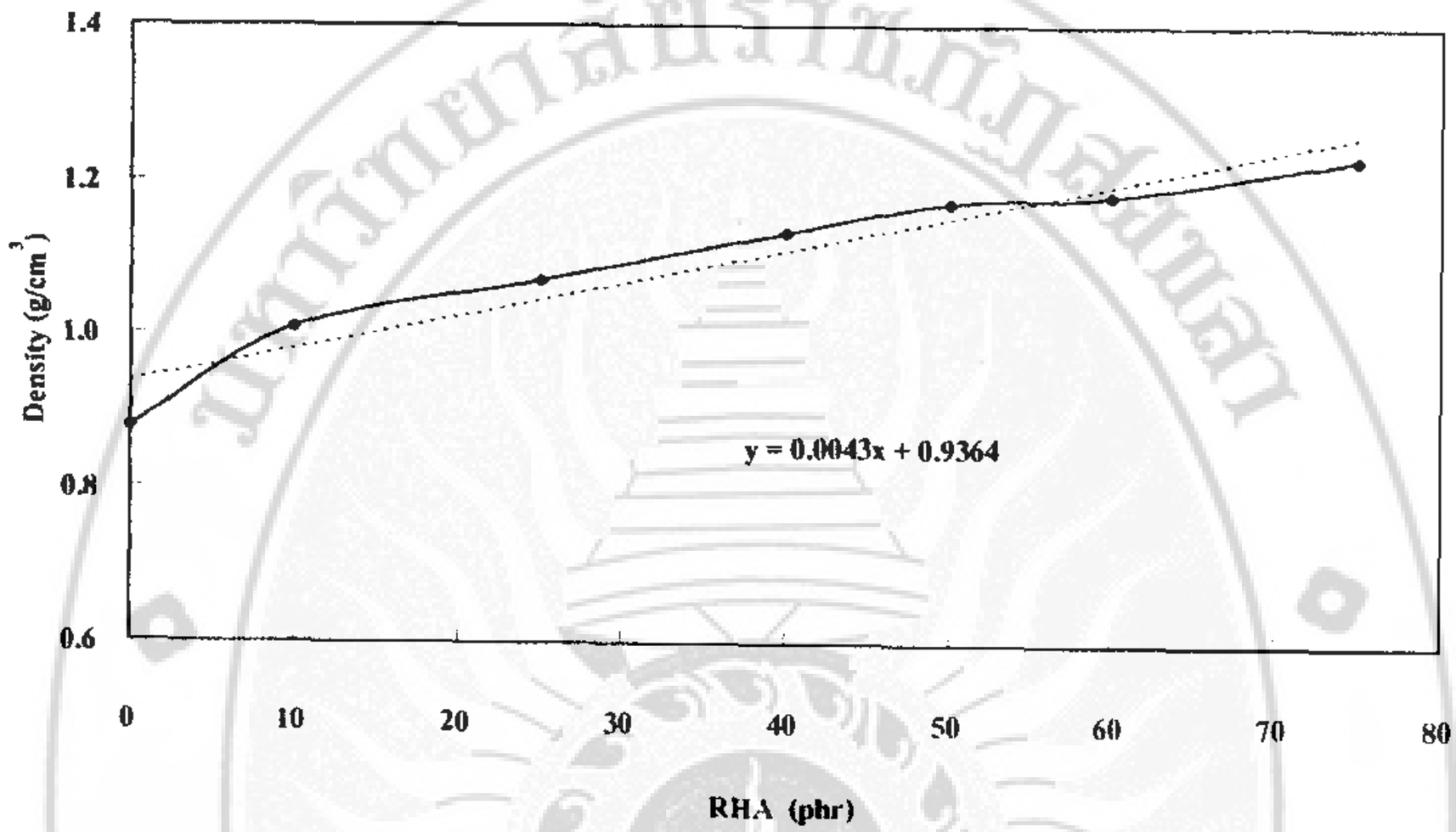


รูปที่ 4.19 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.19 พบว่าดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์สูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมและมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าแกลบเพิ่ม เนื่องจากดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางคอมเปานด์ กล่าวคือถ้ายางคอมเปานด์มีผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้มากจะทำให้ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางมีค่าน้อย แต่ถ้ายางคอมเปานด์มีผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้น้อยจะทำให้ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนว์ของยางมีค่ามาก

4.3.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

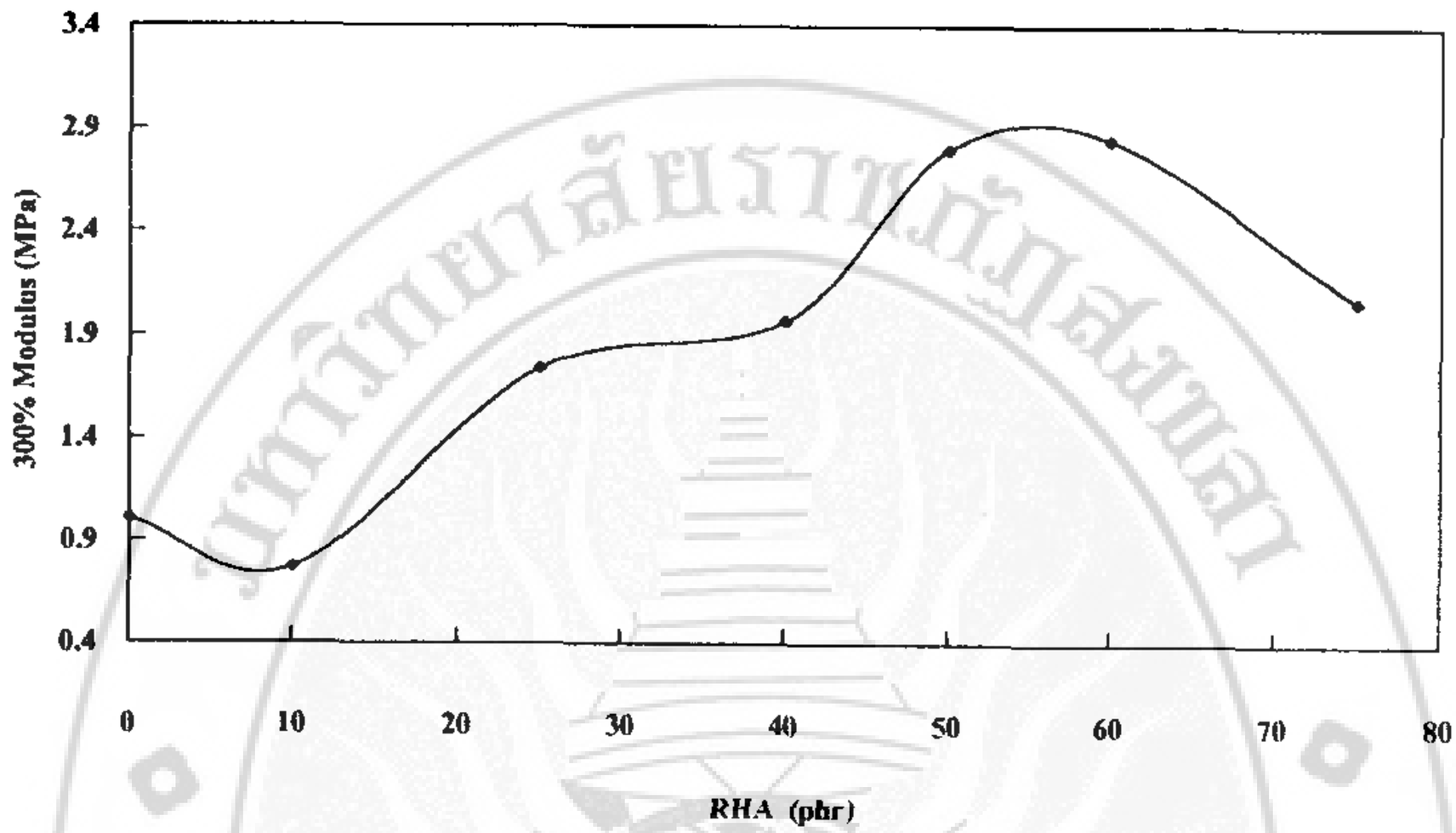
4.3.2.1 ความหนาแน่นของยาง



รูปที่ 4.20 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.20 พบว่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้ เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีความหนาแน่นสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมและมีความหนาแน่นสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่ม เนื่องจากเถ้าแกลบจะช่วยลดช่องว่างภายในโมเลกุลยางทำให้ยางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นดังนั้นยางจะมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น โดยการใช้เถ้าแกลบเพิ่มขึ้น 1 phr ทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นประมาณ 0.043 g/cm^3

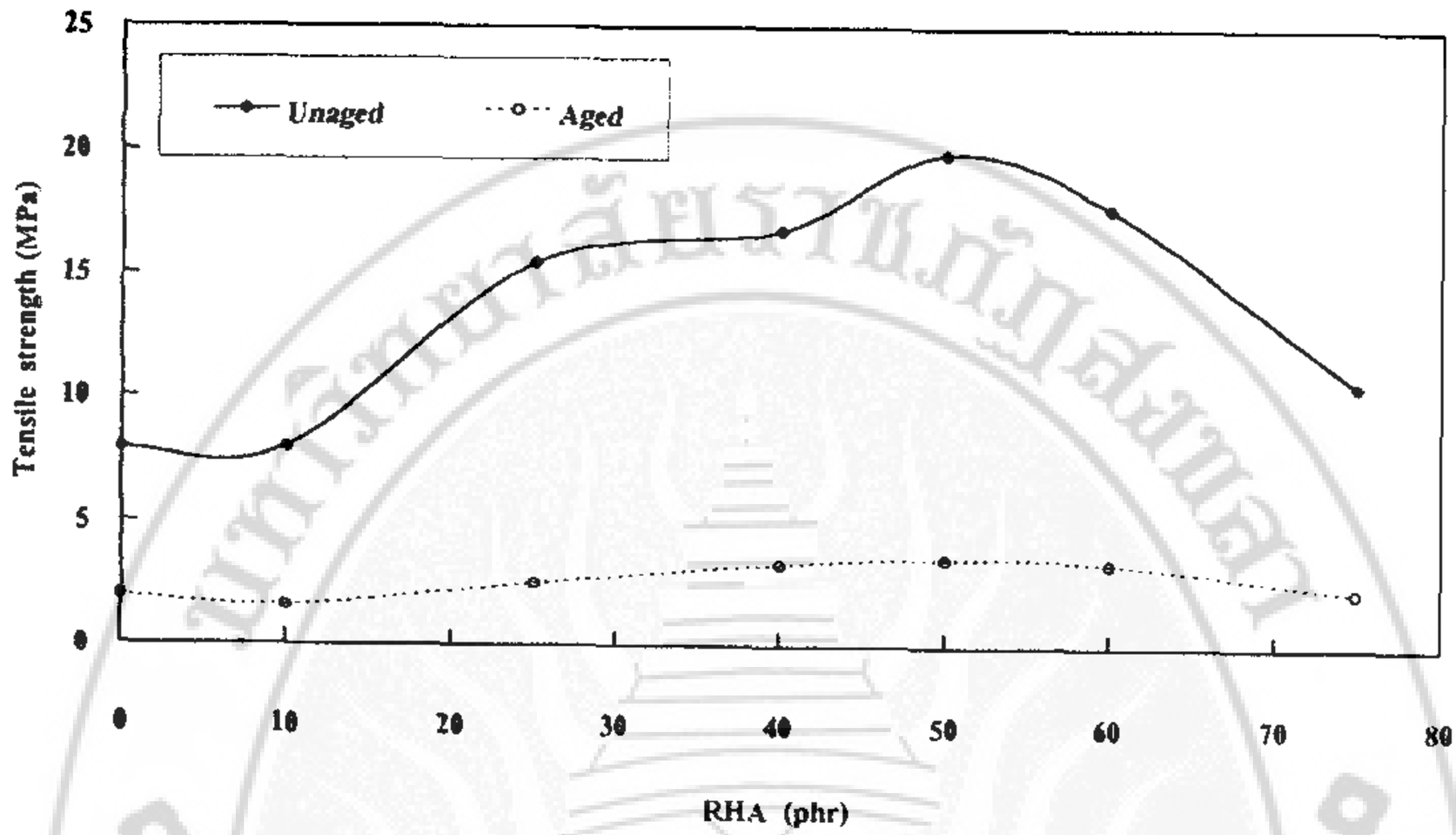
4.3.2.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.21 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ของยางชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

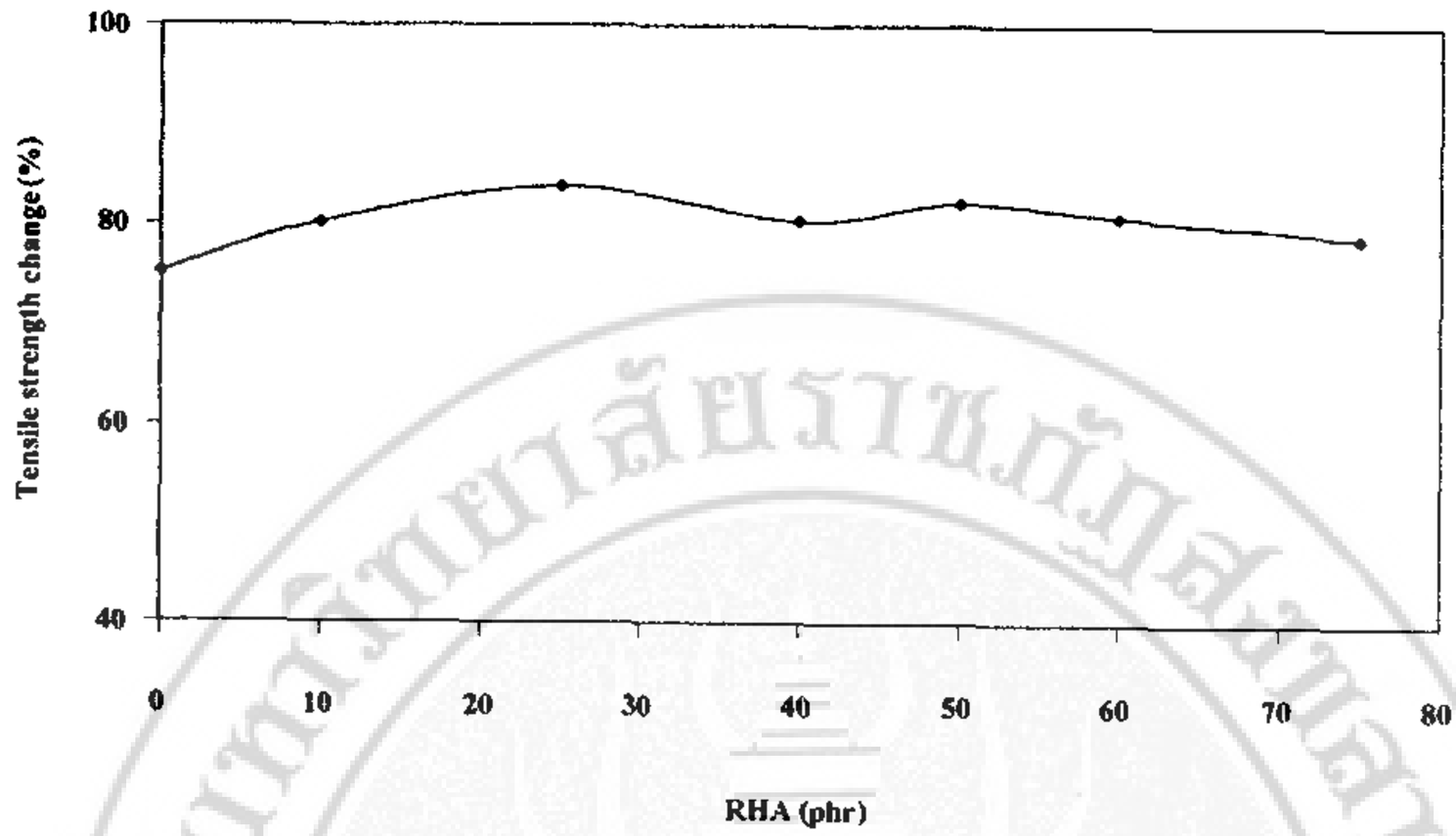
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.21 พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 ปอร์เซ็นต์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีแนวโน้มของค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มดังสมการเส้นแนวโน้ม และที่ปริมาณเถ้าแกลบ 60 phr จะให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ดีที่สุด เนื่องจากสารตัวเติมจะทำให้ยางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยสารตัวเติมจะเข้าไปลดช่องว่างภายในโมเลกุลยางให้ลดลงซึ่งทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและหากมีปริมาณสารตัวเติมมากเกินไปความแข็งแรงก็จะลดลง (Yoshihiro and Akira, n.d.)

4.3.2.3 ความต้านทานต่อการดึง



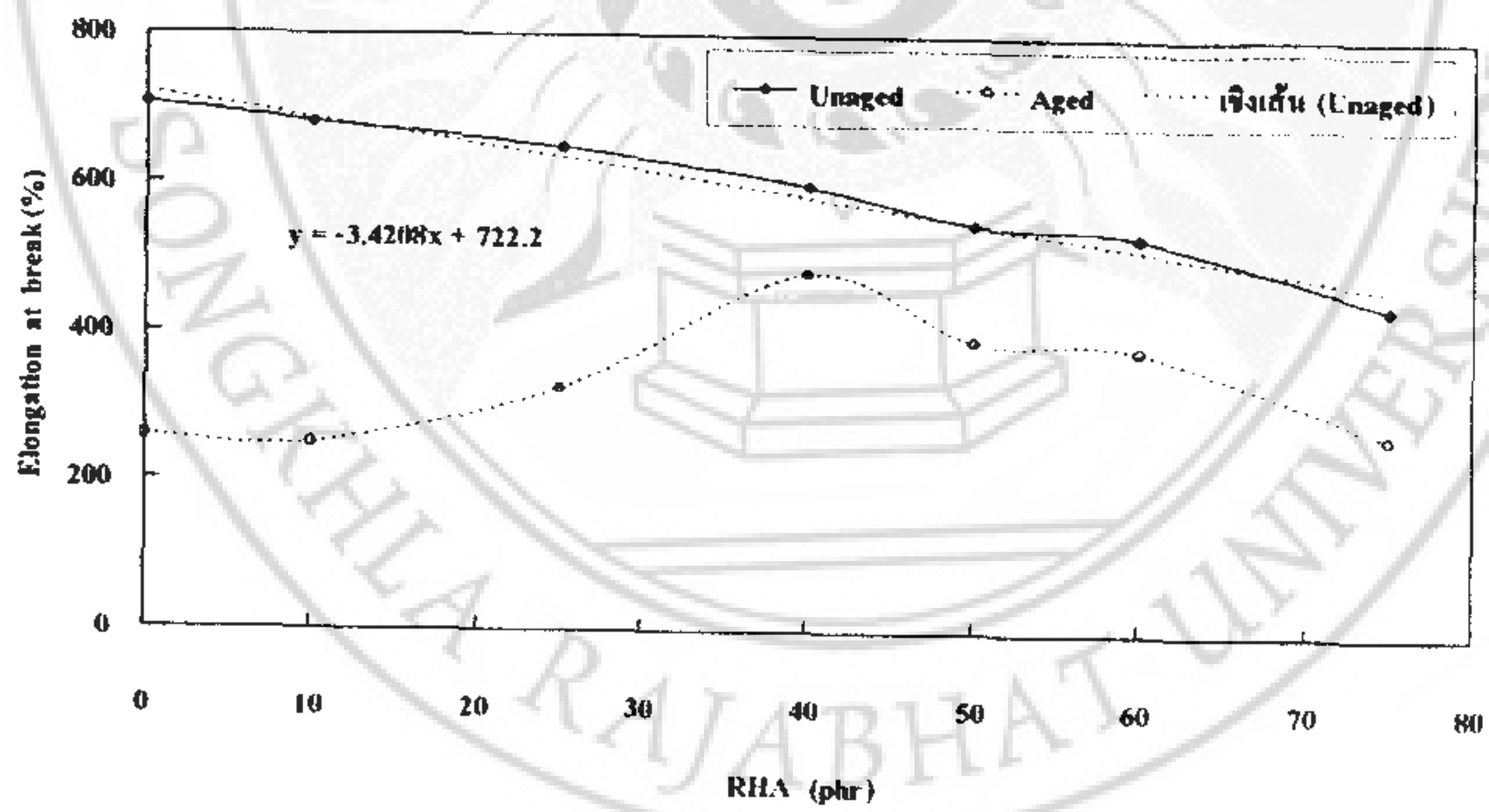
รูปที่ 4.22 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.22 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมก่อนและหลังบ่มเร่งจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม โดยยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมก่อนบ่มเร่งจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึงที่ปริมาณ 50 phr ก็จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่ม และพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังบ่มเร่งของยางที่ใช้เถ้าแกลบในปริมาณ 40 - 60 phr จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการใช้สารตัวเติมในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ยางมีปริมาณเนื้อยางลดลงจึงทำให้โมเลกุลของสารตัวเติมเกิดการเชื่อมโยงกันเองและพันธะของยางเกิดการอิ่มตัวยางจึงมีความต้านทานต่อแรงดึงลดลง จากรูปที่ 4.23 พบว่ายางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่งที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

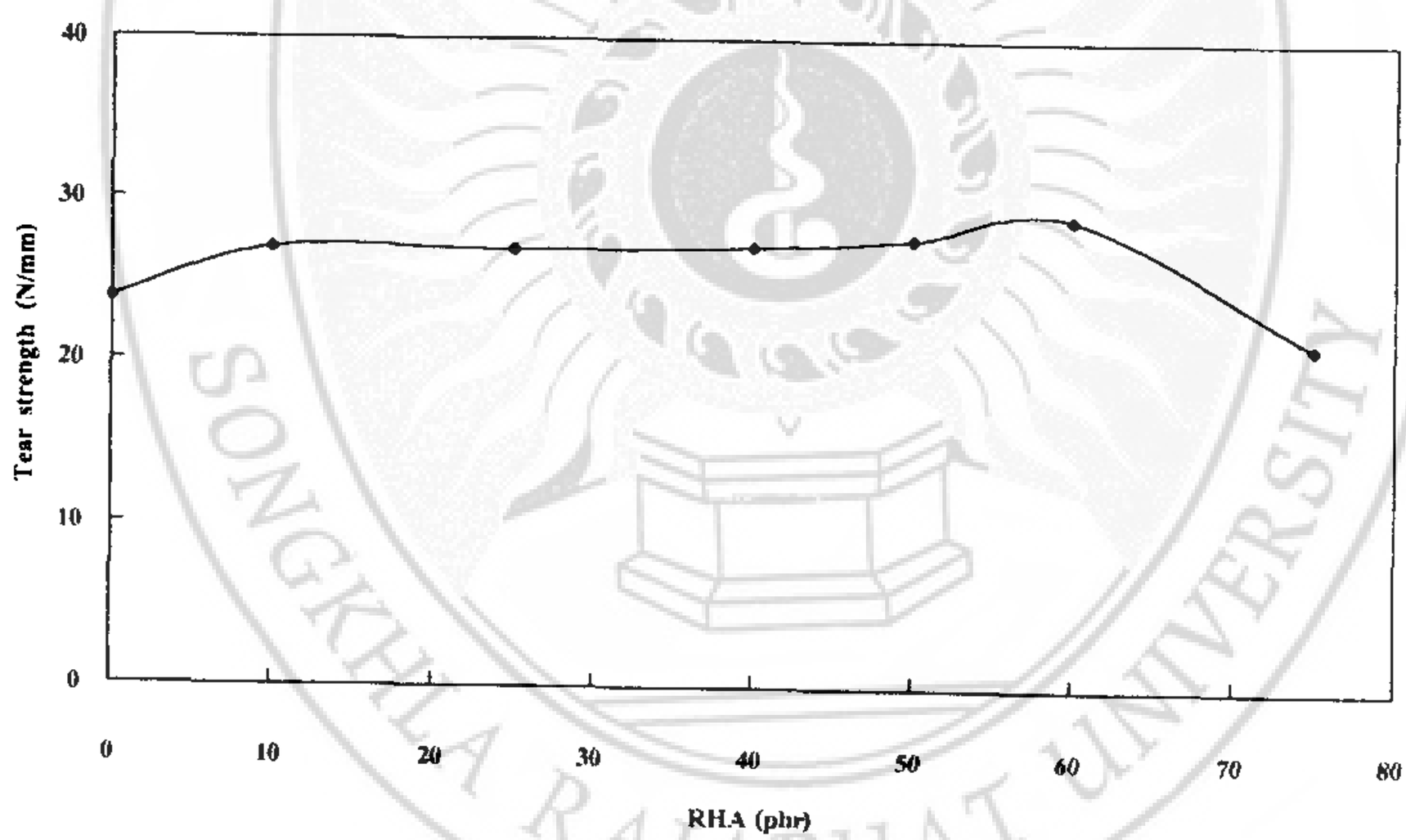
4.3.2.4 ความสามารถในการยืด



รูปที่ 4.24 ความสามารถในการยืดจนขาดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.24 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมก่อนและหลังบ่มเร่งจะมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของยางก่อนบ่มเร่งจะลดลงตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารตัวเติมที่เพิ่มจะทำให้ยางมีปริมาณเนื้อยางลดลง จึงทำให้ยางมีความสามารถในการยืดได้น้อยลง จากการวิเคราะห์เส้นแนวโน้ม พบว่าการใช้เถ้าแกลบเพิ่มขึ้น 1 phr ทำให้ความสามารถในการยืดลดลงประมาณ 3.42 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความสามารถในการยืดจนขาดหลังบ่มเร่งของยางที่ใช้เถ้าแกลบจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดต่ำลงเมื่อใช้เถ้าแกลบในปริมารสูงกว่า 40 phr เนื่องจากการเติมสารตัวเติมในปริมาณ 25 - 60 phr สารตัวเติมจะช่วยให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้น้อยกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติม แต่หากใช้สารตัวเติมในปริมาณมากเกินไปประสิทธิภาพของสารตัวเติมจะลดลงและทำให้เกิดจุดอ่อนขึ้นในยาง

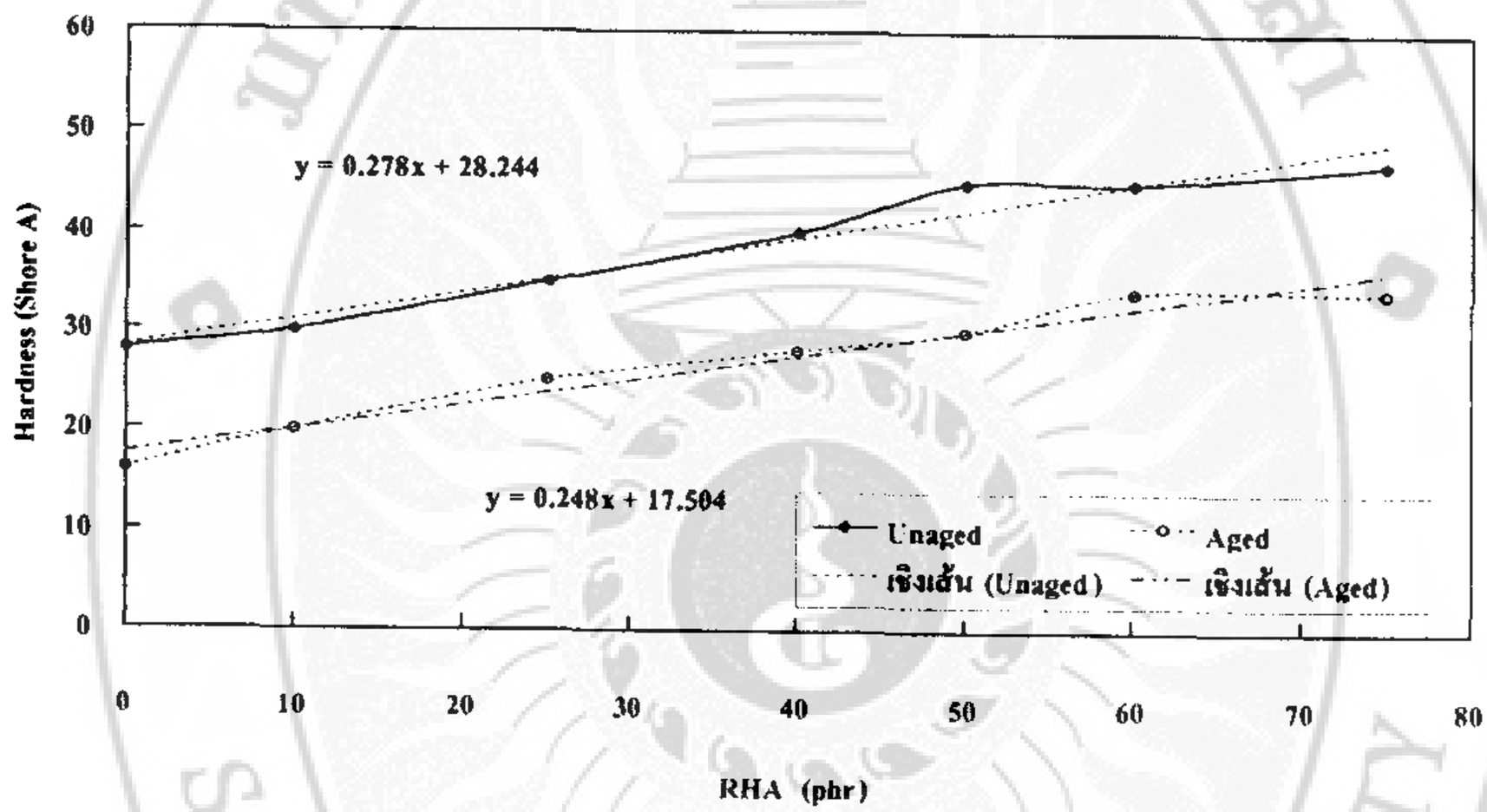
4.3.2.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.25 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางชาติ ที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.25 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ไม่ใช้สารตัวเติมและมีค่าใกล้เคียงกันในปริมาณ 10 - 60 phr แต่ปริมาณการใช้เถ้าแกลบสูงกว่า 60 phr จะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีดขาดต่ำลง เนื่องจากการใช้สารตัวเติมในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ยางมีปริมาณเนื้อยางลดลงจึงทำให้โมเลกุลของสารตัวเติมเกิดการเชื่อมโยงกันเองและพันธะของยางเกิดการอิ่มตัวยางจึงมีความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลง

4.3.2.6 ความแข็ง



รูปที่ 4.26 ความแข็งของยางธรรมชาติก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมในปริมาณ 0, 10, 25, 40, 50, 60 และ 75 phr

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.26 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมจะมีค่าความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมและค่าความแข็งของยางจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าแกลบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์เส้นแนวโน้ม พบว่าการใช้เถ้าแกลบเพิ่มขึ้น 1 phr ทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.278 และ 0.248 shore A เนื่องจากสารตัวเติมจะทำให้ยางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นโดยสารตัวเติมจะเข้าไปลดช่องว่างภายในโมเลกุลยางให้ลดลง (Yoshihiro and Akira, n.d.)

4.4 ผลการศึกษาอิทธิพลของปริมาณการใช้ไดเอทธีลีนไกลคอลร่วมกับเถ้าแกลบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

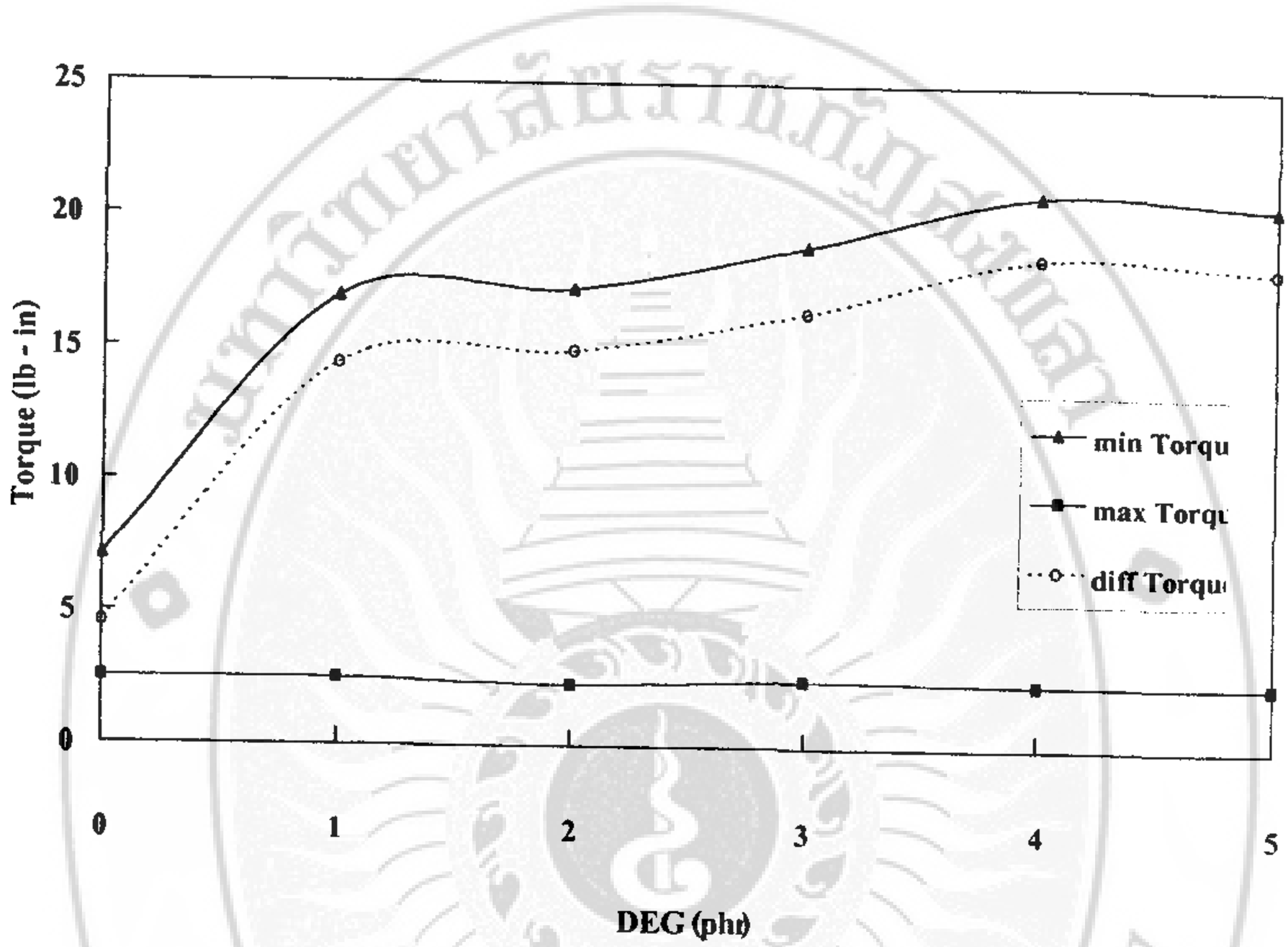
จากการศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธีลีนไกลคอลในปริมาณ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr โดยทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังตาราง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าในการใช้ไดเอทธีลีนไกลคอลในปริมาณ 0 phr ไม่สามารถทำการขึ้นรูปเพื่ออัดแผ่นทดสอบได้

ตารางที่ 4.4 สมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธีลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ

Properties	DEG (phr)					
	0	**1.0**	**2.0**	**3.0**	**4.0**	**5.0**
Max. Torque, lb-in	7.10	16.90	17.20	18.90	20.90	20.50
Min. Torque, lb-in	2.50	2.50	2.30	2.50	2.40	2.40
Diff. Torque, lb -in	4.60	14.40	14.90	16.40	18.50	18.10
Scorch Time , min	3.10	1.48	1.25	1.20	1.10	1.10
Cure Time, min	10.83	9.16	6.90	6.13	6.30	6.00
Cure rate index, 1/min	12.94	13.02	17.70	20.28	19.23	20.41
Density, g /cm^3	-	1.152	1.151	1.152	1.156	1.155
300% Modulus, MPa	-	2.07	2.16	2.21	2.24	2.12
Tensile strength, MPa	-	11.40	14.01	12.75	14.32	14.73
Elongation at break, %	-	533	583	566	566	583
Tear strength, N/mm	-	22.42	23.14	28.00	30.02	29.60
Hardness, Shore A	-	37	39	43	43	42
Aged @ 100^{0}C, 72 hrs.						
300% Modulus, MPa	-	0.74	0.98	1.92	1.62	1.42
Tensile strength, MPa	-	1.25	1.26	2.50	2.02	1.73
Tensile strength Change (%)	-	89.04	91.01	80.39	85.89	88.26
Elongation at break, %	-	508	416	413	310	325
Hardness, Shore A	-	20	23	29	30	30

4.4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์

4.4.1.1 ค่าแรงบิดต่ำสุด ค่าแรงบิดสูงสุด และ ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด

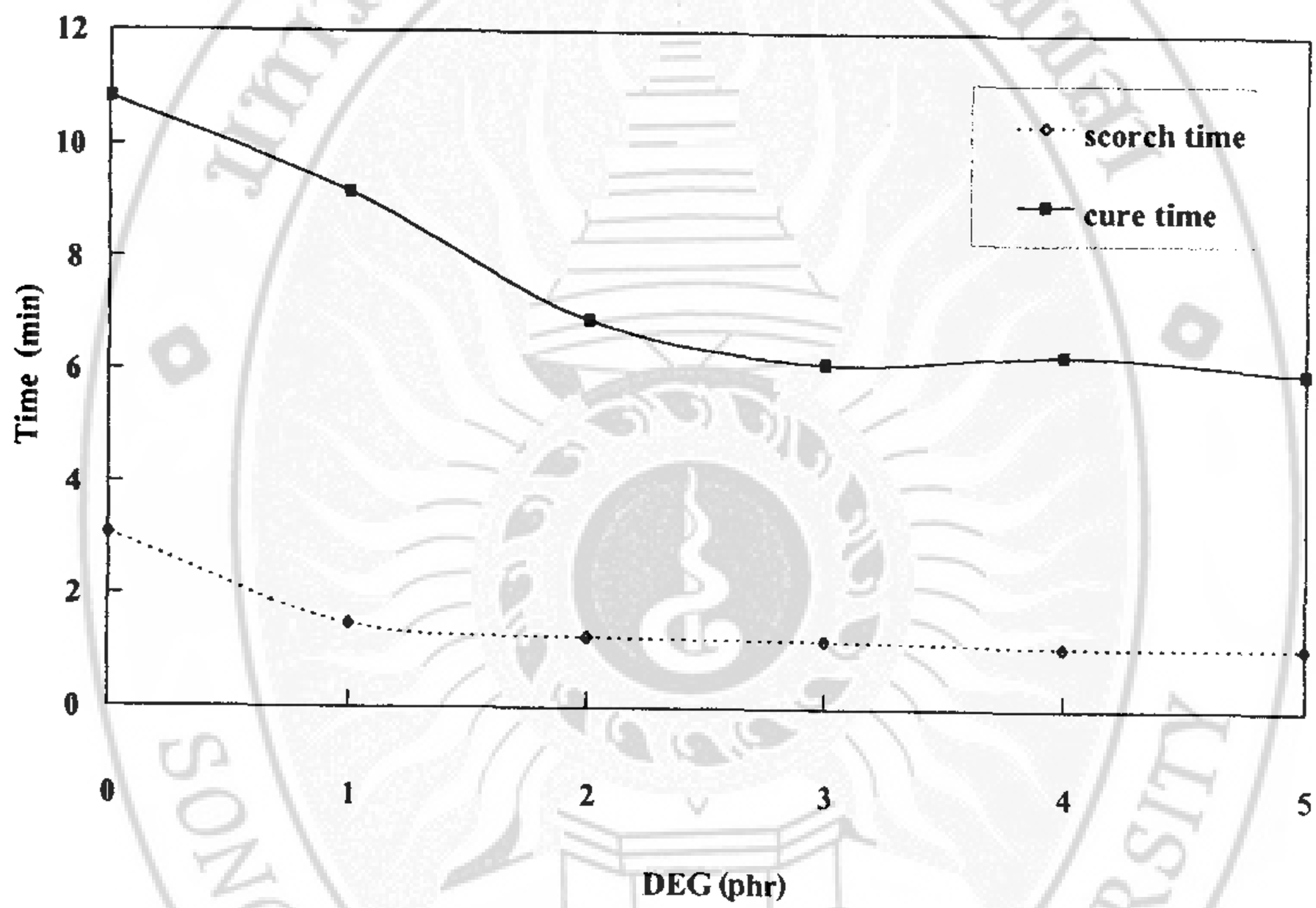


รูปที่ 4.27 ค่าแรงบิดต่ำสุด, ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.27 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะให้ค่าแรงบิดสูงสุด และผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดสูงกว่ายางที่ไม่ใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล โดยยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะมีแนวโน้มของค่าแรงบิดสูงสุดและผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไดเอทธิลีนไกลคอลจะช่วยให้ปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์และการเชื่อมโยงโมเลกุลระหว่างยางกับเถ้าแกลบนั้นเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์กว่ายางที่ใช้เถ้าแกลบที่ไม่ใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลจึงทำให้มีค่าแรง

บิดสูงสุดและผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุดเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น และพบว่าค่าแรงบิดต่ำสุดของยางที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากยางทุกสูตรจะใช้เถ้าแกลบในปริมาณ 50 phr เท่ากัน จึงทำให้ได้ค่าแรงบิดต่ำสุดใกล้เคียงกัน

4.4.1.2 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์

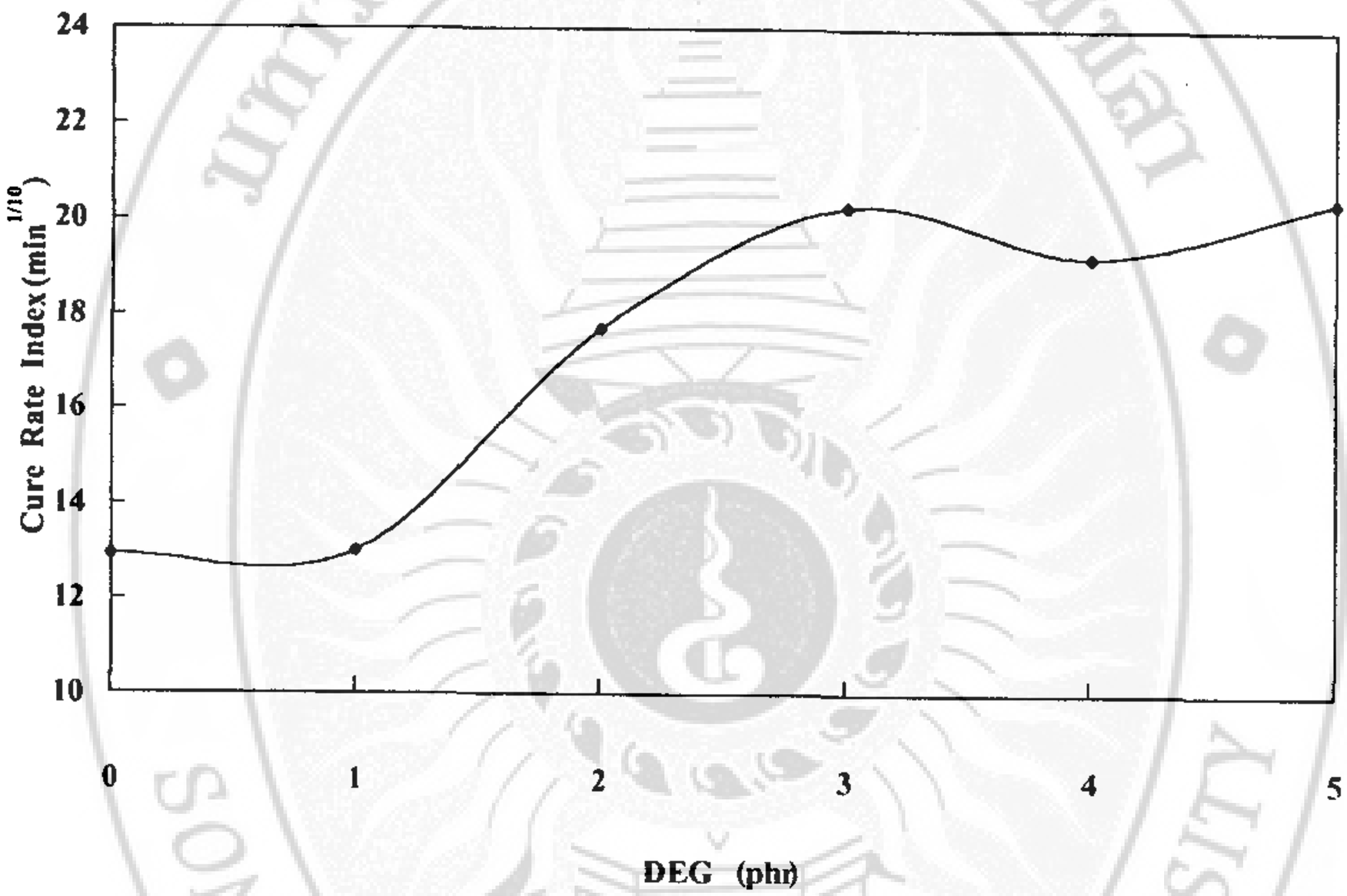


รูปที่ 4.28 ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.28 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะให้ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เร็วกว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบที่ไม่ใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล ซึ่งสังเกตได้ว่าที่ปริมาณการใช้ ไดเอทธิลีนไกลคอล 2 - 5 phr จะให้ระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะ

เวลาในการวัลคาไนซ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยระยะเวลาที่ยังสามารถแปรรูปได้และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จะเร็ว ขึ้นตามปริมาณไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ดีขึ้น ถ้าใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ยางมีปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ที่เร็วและเกิดการสุกได้ง่าย แต่ถ้าใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณที่ต่ำเกินไปก็จะทำให้เกิดการปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ของยางช้า (พรพรรณ, 2528)

4.4.1.3 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์



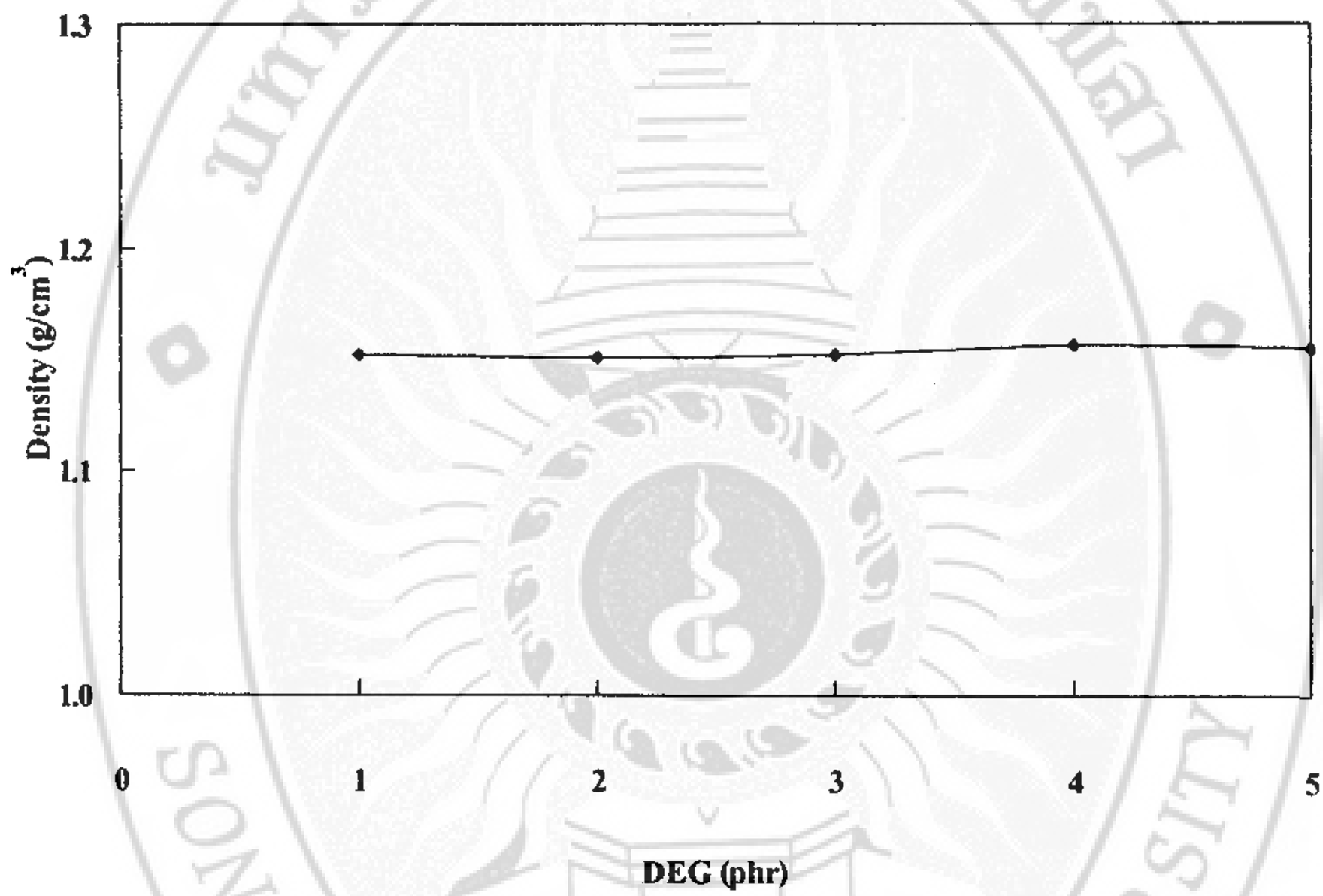
รูปที่ 4.29 ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr ที่อุณหภูมิทดสอบ 150 องศาเซลเซียส

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.29 พบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะมีดัชนีในการวัลคาไนซ์สูงกว่ายางยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบที่ไม่ใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล และมีแนวโน้มของดัชนีในการวัลคาไนซ์สูงขึ้นตามปริมาณการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางขึ้นอยู่กับผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางคอมเปานด์ กล่าวคือถ้ายางคอมเปานด์มีผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปร

รูปได้มากจะทำให้ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ของยางมีค่าน้อย แต่ถ้ายางคอมเปานด์มีผลต่างระหว่างระยะเวลาในการวัลคาไนซ์กับระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้น้อยจะทำให้ดัชนีความเร็วในการวัลคาไนว์ของยางมีค่ามาก

4.4.2 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

4.4.2.1 ความหนาแน่นของยาง

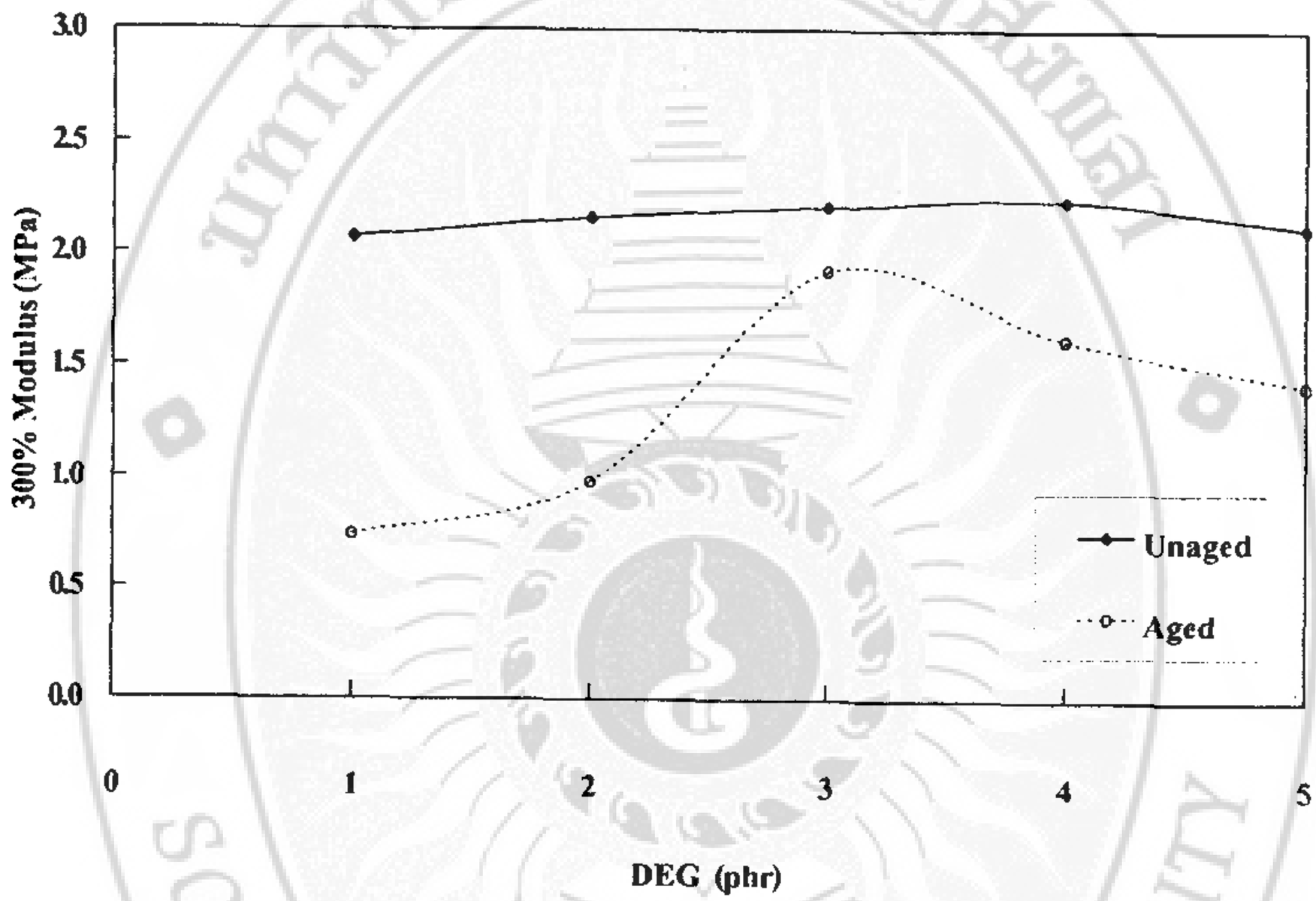


รูปที่ 4.30 ความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่เถ้าแคลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.30 พบว่าความหนาแน่นของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะมีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน เนื่องจากใช้เถ้าแกลบในปริมาณ 50 phr เท่ากันทุกสูตรและไดเอทธิลีนไกลคอลจะช่วยลดความเป็นกรดที่ผิวของซิลิกาทำให้การบดผสมทำได้ง่ายและเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ดีขึ้นจึงมีผลต่อความหนาแน่นของยางน้อย โดยพบว่ายางธรรมชาติที่ใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 0 phr ไม่สามารถ

ทำการขึ้นรูปชิ้นทดสอบได้เนื่องจากเถ้าแกลบมีผิวเป็นรูพรุนและมีความชื้นจึงทำให้ชิ้นทดสอบเกิดฟองอากาศ (Yoshihiro and Akira, n.d.)

4.4.2.2 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์

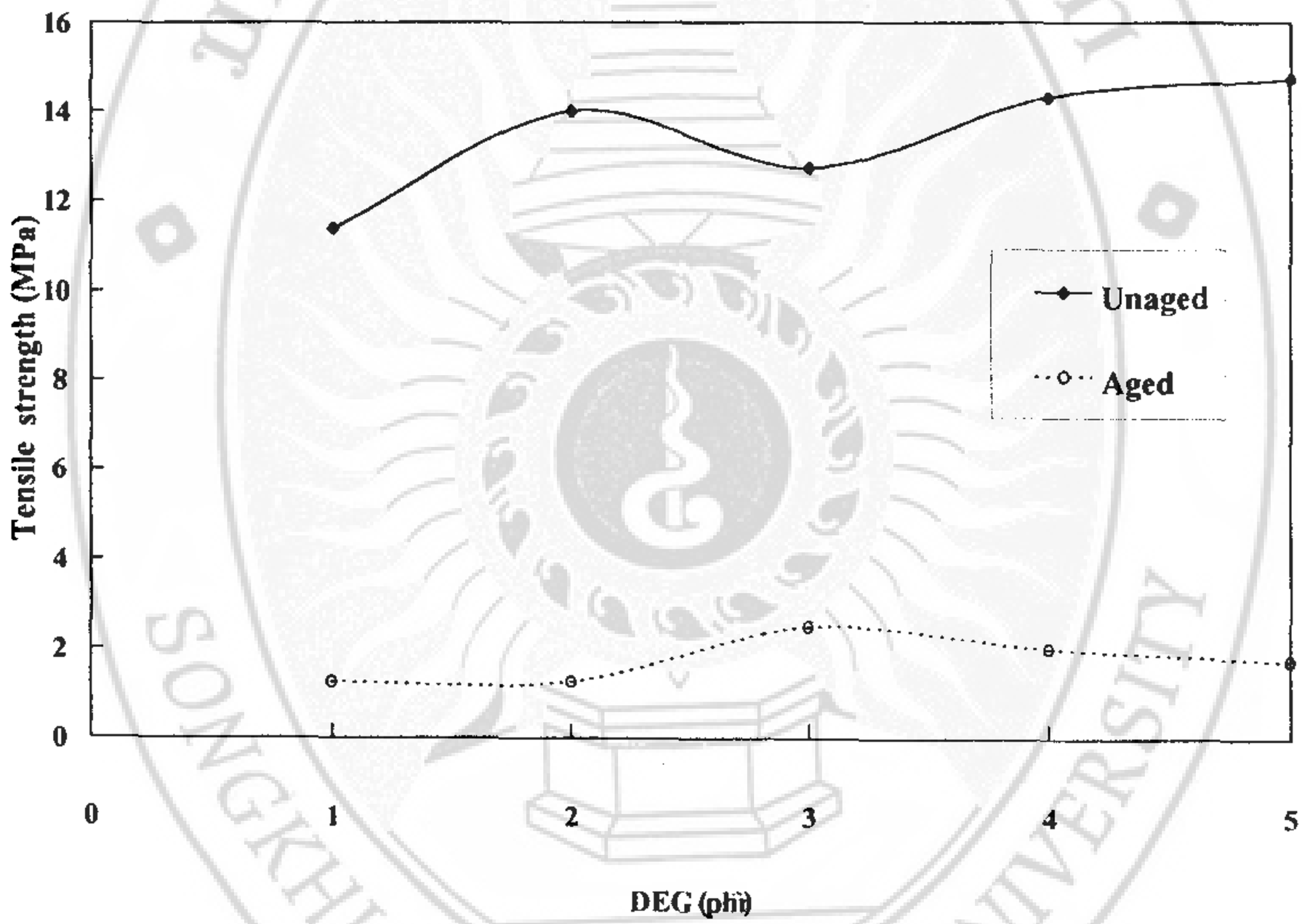


รูปที่ 4.31 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.31 พบว่าค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ก่อนบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่าง ๆ จะมีค่าใกล้เคียงกัน และค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์หลังบ่มเร่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามที่ปริมาณการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณสูงกว่า 3 phr จะให้ค่า

มอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์หลังบ่มเร่งลดลงและที่ปริมาณการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล 3 phr จะให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ก่อนและหลังบ่มเร่งสูงที่สุด เนื่องจาก ไดเอทธิลีนไกลช่วยให้เถ้าแกลบมีการกระจายตัวได้ดีในยางการเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุลของยางกับเถ้าแกลบเกิดขึ้นได้ง่ายและเถ้าแกลบสามารถเข้าไปลดช่องว่างภายในโมเลกุลยางให้ลดลงจึงทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและหากใช้ในปริมาณมากเกินทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ

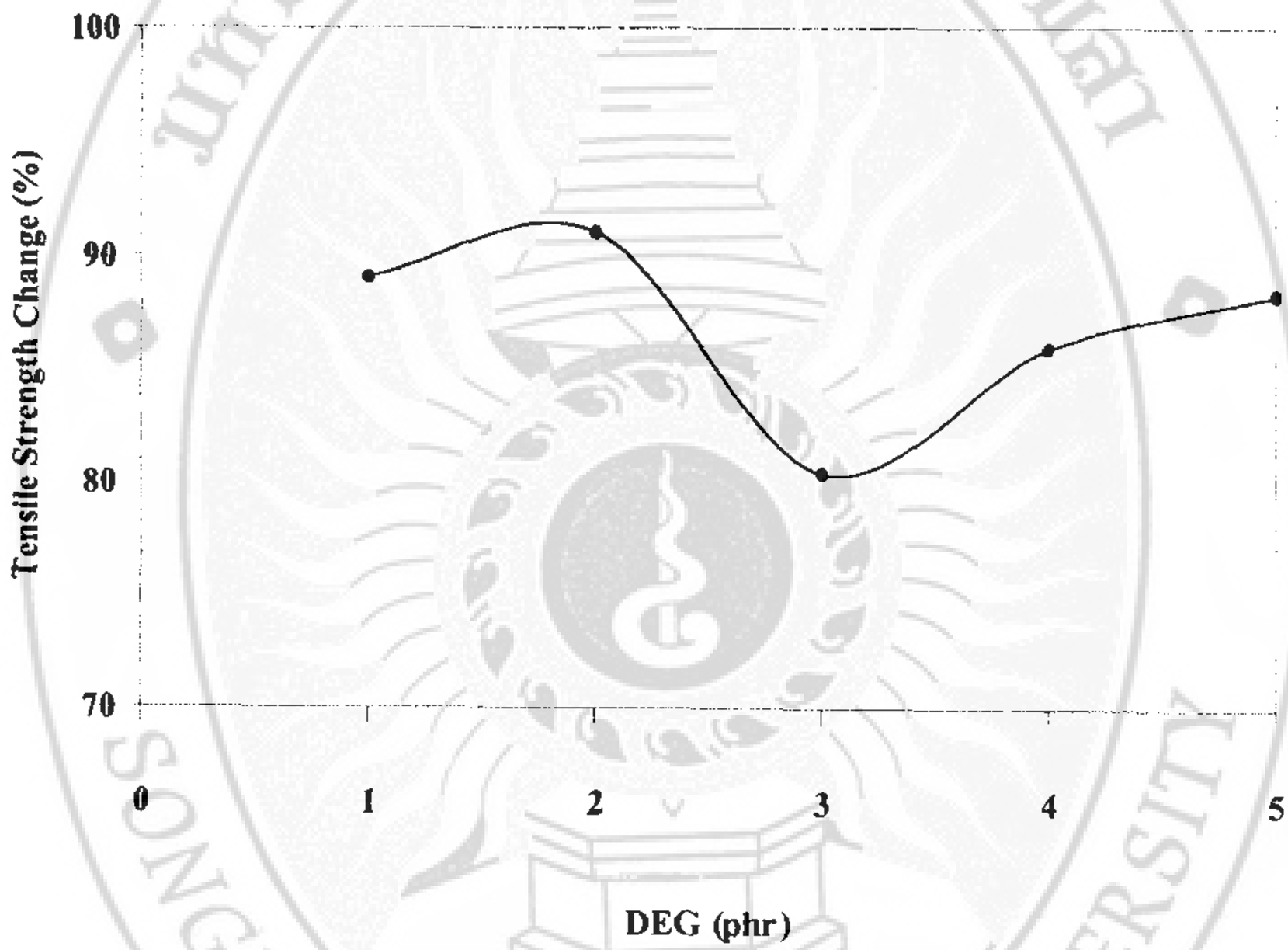
4.4.2.3 ความต้านทานต่อแรงดึง



รูปที่ 4.32 ความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

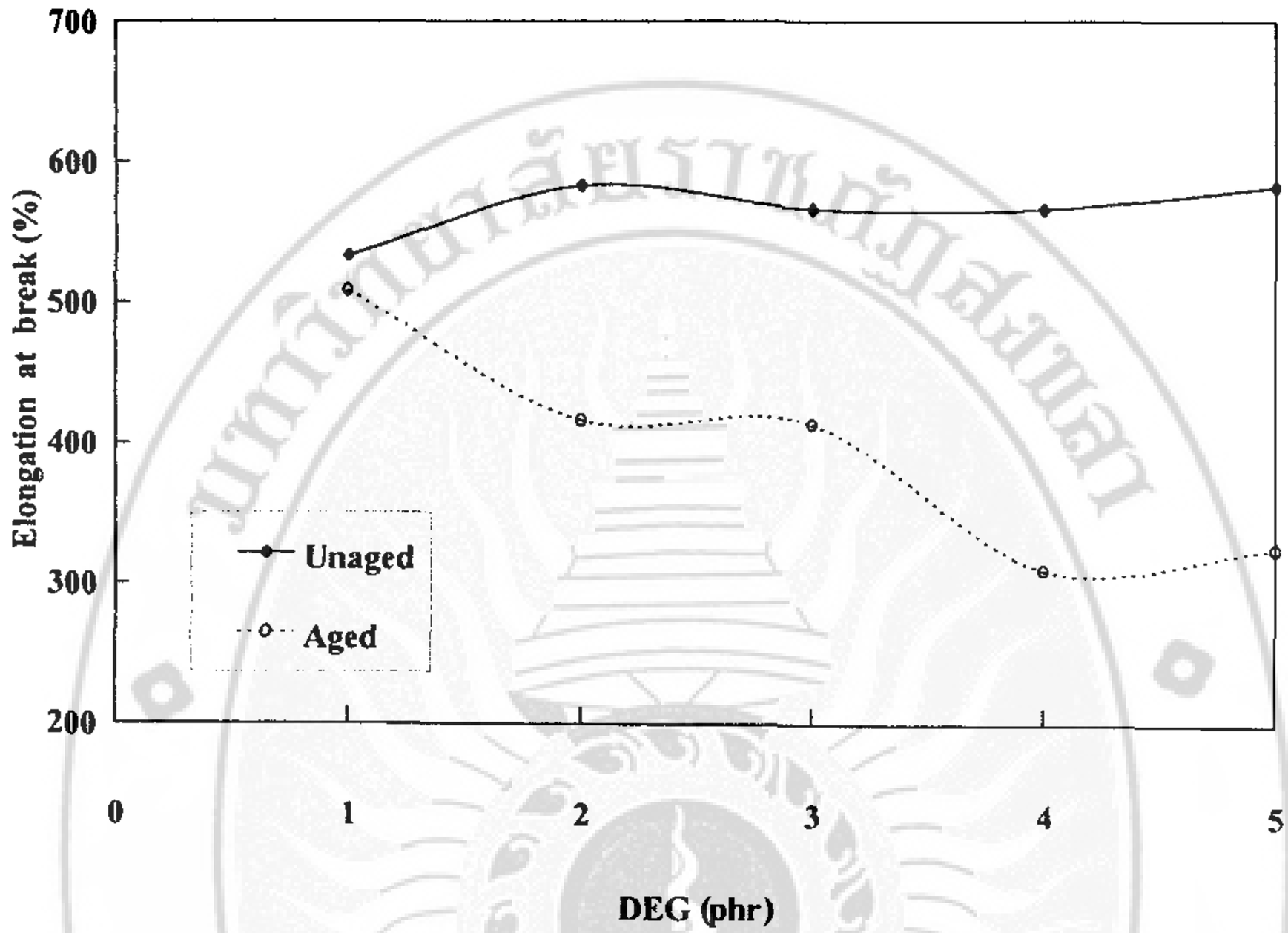
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.32 พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลที่ปริมาณ 3 phr จะมีค่าสูงที่สุดและที่ปริมาณ

การใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 phr จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนอบและหลังอบใกล้เคียงกัน โดยจากรูปที่ 4.33 จะพบว่ายางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบร่วมกับ ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่างๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงใกล้เคียงกัน เนื่องจากการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลจะมีผลต่อค่าความต้านทานต่อแรงดึงน้อยดังจะเห็นได้จากเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่ง



รูปที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อแรงดึงก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

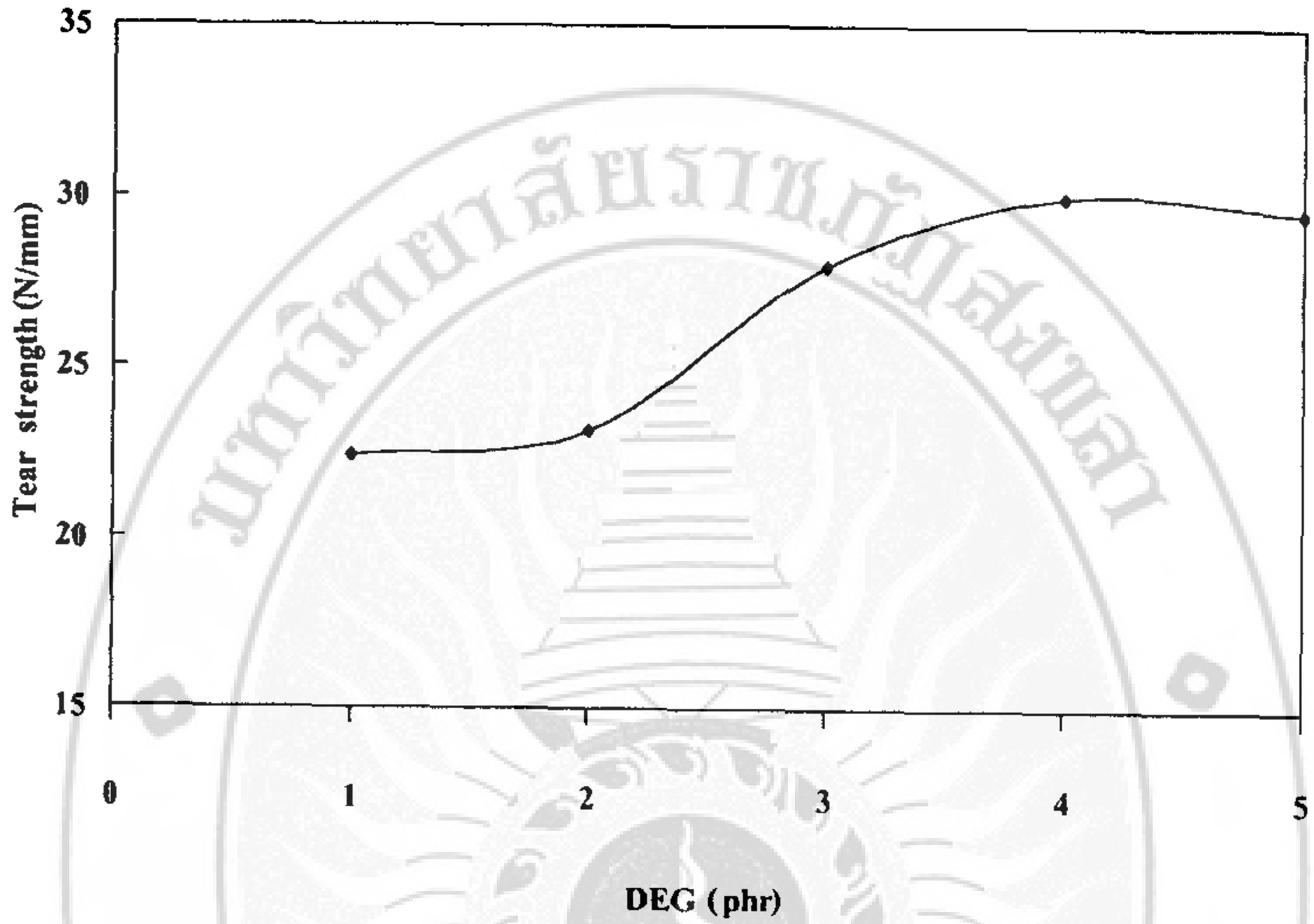
4.4.2.4 ความสามารถในการยืด



รูปที่ 4.34 ความสามารถในการยืดก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.34 พบว่าความสามารถในการยืดของยางก่อนบ่มเร่งจะมีค่าใกล้เคียงกันที่ปริมาณการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล 1 - 5 phr และจะมีความสามารถในการยืดหลังบ่มเร่งลดลงตามปริมาณไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการยืดหลังบ่มเร่งเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานๆ

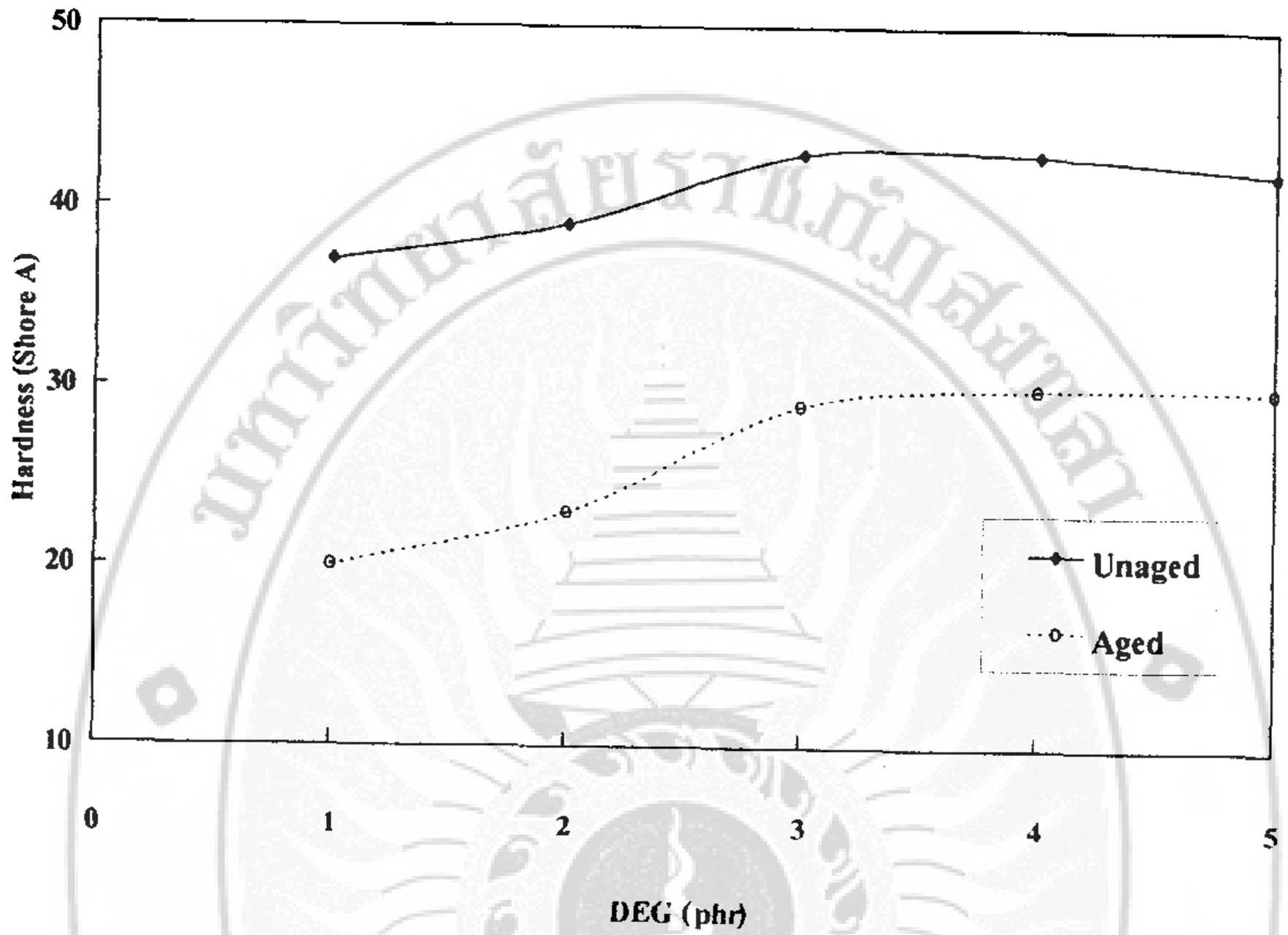
4.4.2.5 ความต้านทานต่อการฉีกขาด



รูปที่ 4.35 ความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้ที่เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.35 พบว่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ ไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้เถ้าแกลบร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลทำให้เถ้าแกลบมีการกระจายตัวในยางได้ดีและการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางกับเถ้าแกลบเกิดได้ง่ายขึ้นจึงทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

4.4.2.6 ความแข็ง



รูปที่ 4.36 ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสระยะเวลา 72 ชั่วโมงของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบ 50 phr ร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณ 1, 2, 3, 4, และ 5 phr

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.36 พบว่าความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งของยางธรรมชาติที่ใช้เถ้าแกลบร่วมกับไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณต่าง ๆ จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณไดเอทธิลีนไกลคอลที่เพิ่มขึ้น และที่ปริมาณการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอล 3 - 5 phr จะให้ความแข็งก่อนและหลังบ่มเร่งใกล้เคียงกัน เนื่องจากการใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ดีขึ้นซึ่งทำให้ยางมีการเชื่อมโยงของโมเลกุลได้ดีแต่ถ้าใช้ไดเอทธิลีนไกลคอลในปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้ยางมีปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ช้าลงและมีการเชื่อมโยงโมเลกุลของยางได้ไม่ดี (พรพรรณ , 2528)