

ภาคผนวก

Prince of Songkla University  
Pattani Campus

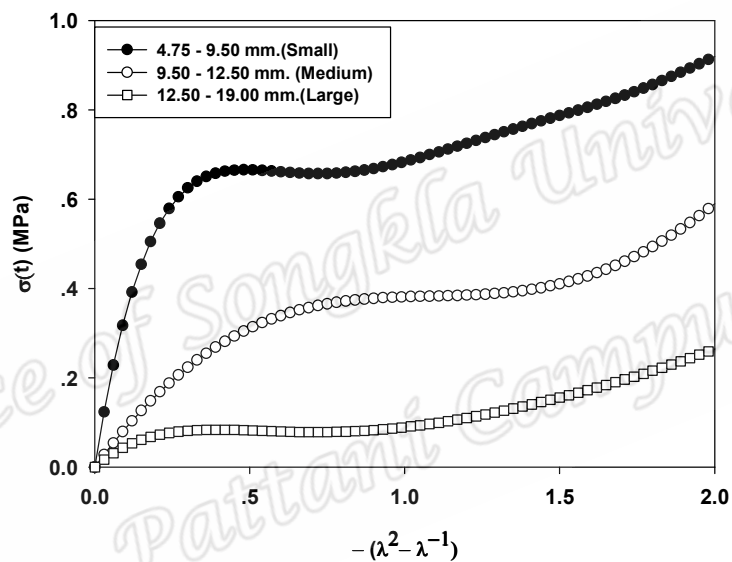
ภาคผนวก ก

การศึกษาอิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวม น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ ปริมาณยางธรรมชาติ  
และความเร็วการกด

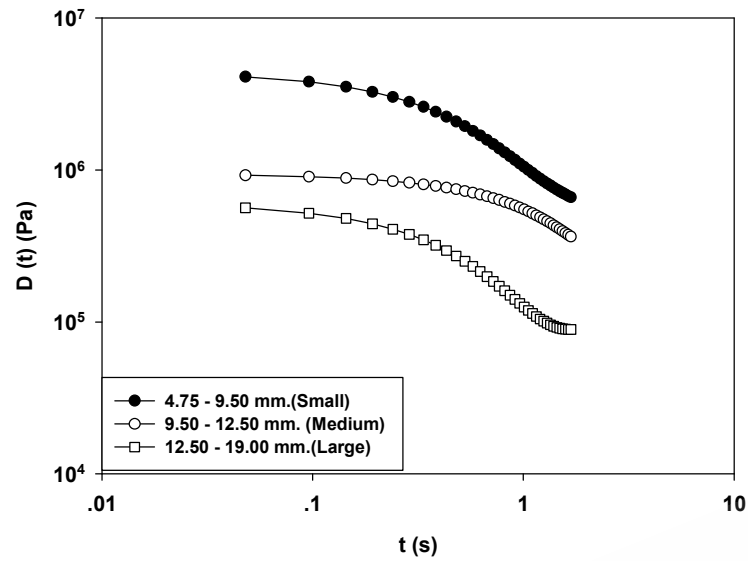
Prince of Songkhla University  
Pattani Campus

### การศึกษาอิทธิพลของขนาดวัสดุรวม

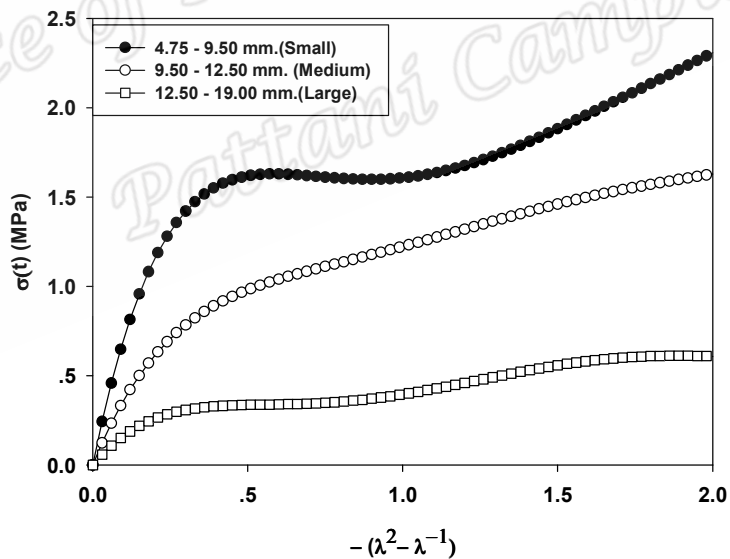
สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที การลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30) 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50) และ 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11)



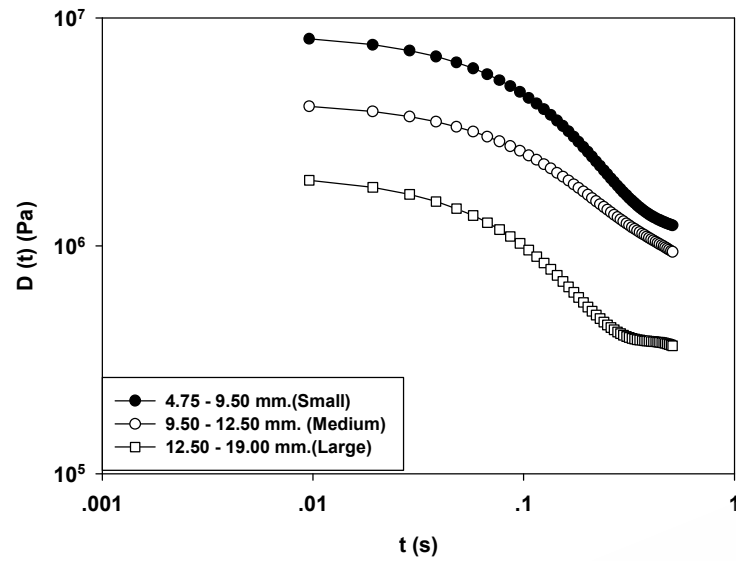
รูปที่ 1 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



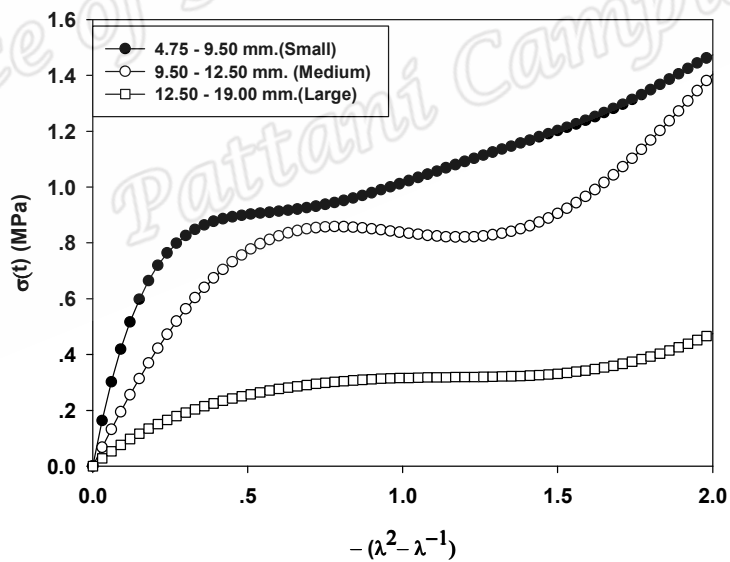
รูปที่ 2 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



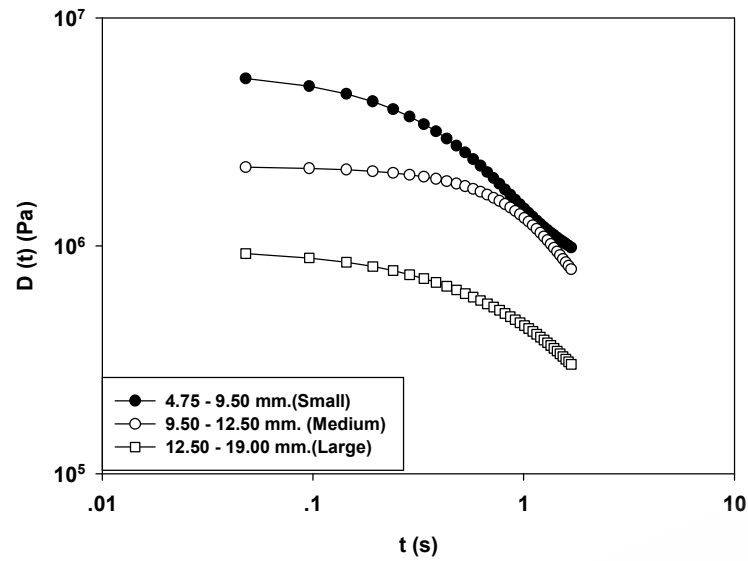
รูปที่ 3 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



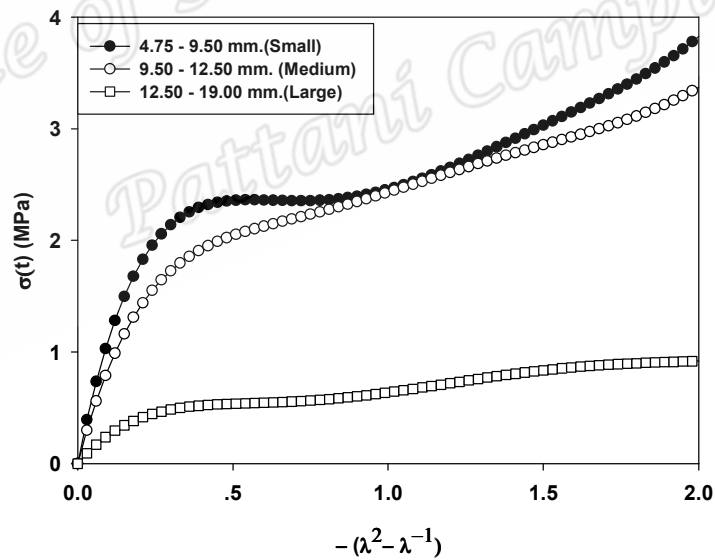
รูปที่ 4 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



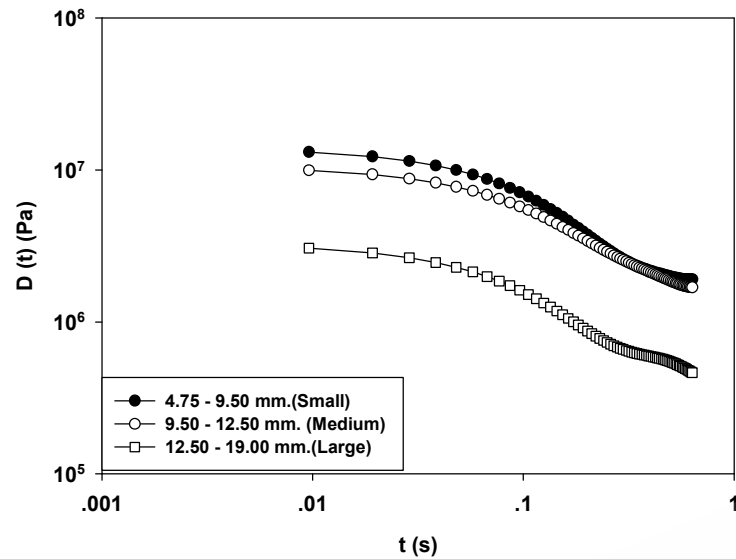
รูปที่ 5 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



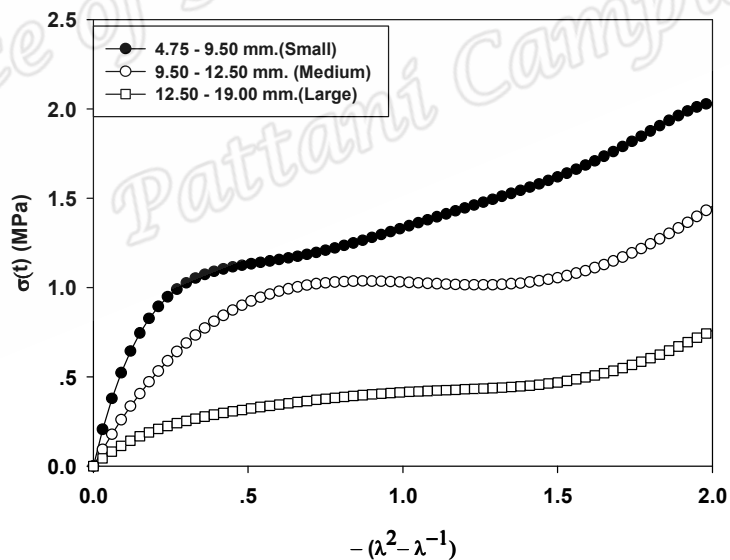
รูปที่ 6 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



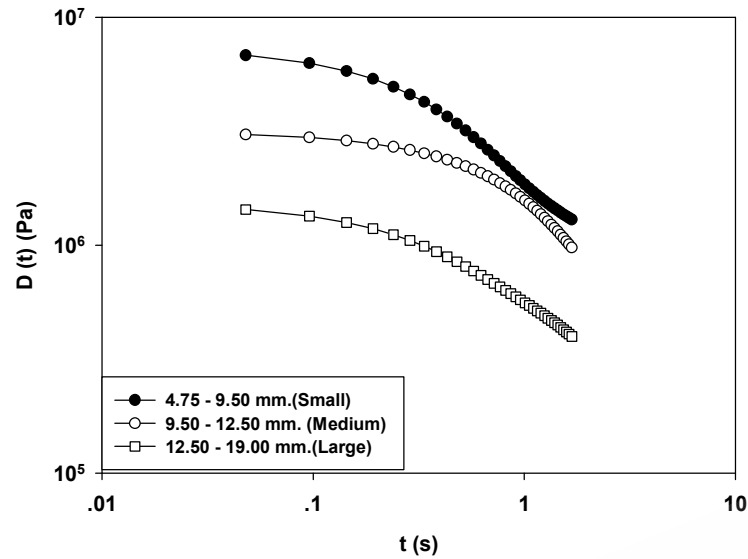
รูปที่ 7 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



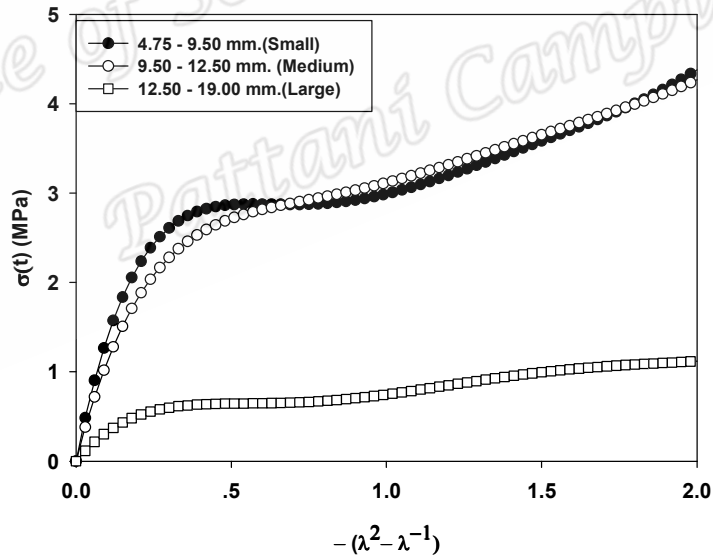
รูปที่ 8 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



รูปที่ 9 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที

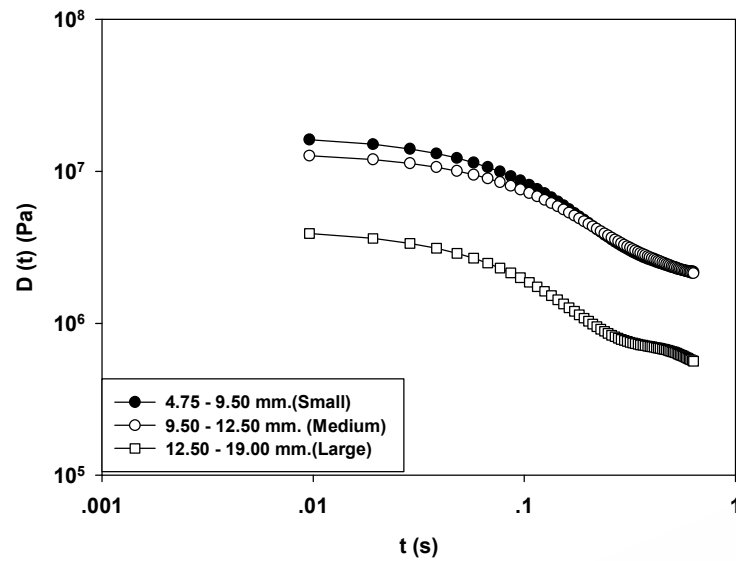


รูปที่ 10 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที

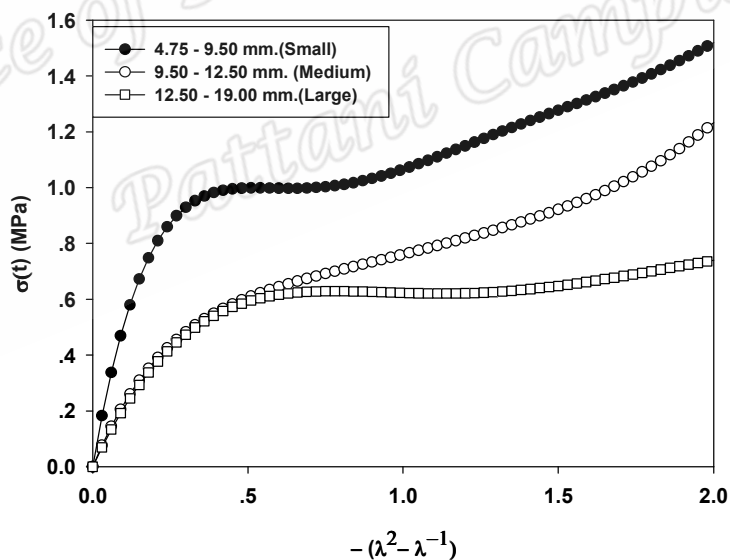


รูปที่ 11 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที

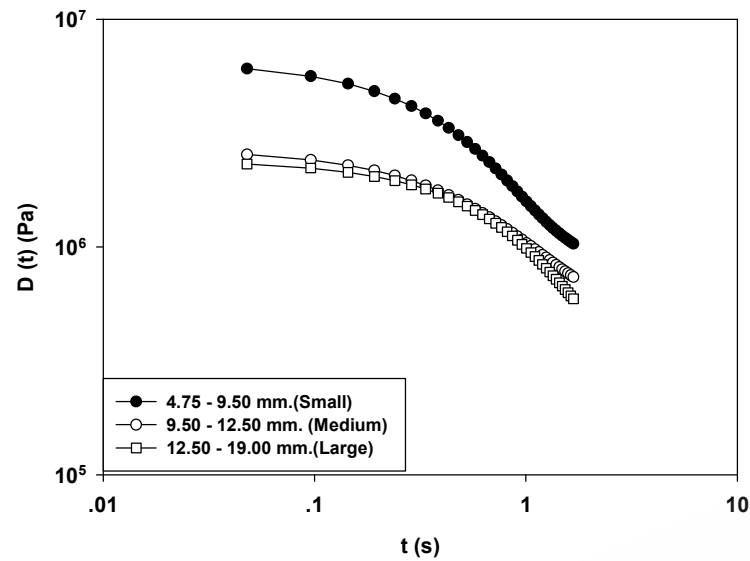




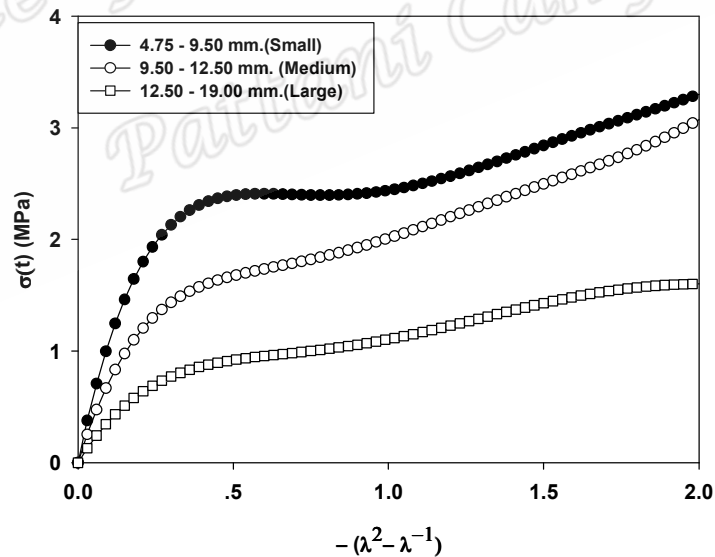
รูปที่ 12 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 0 นาที



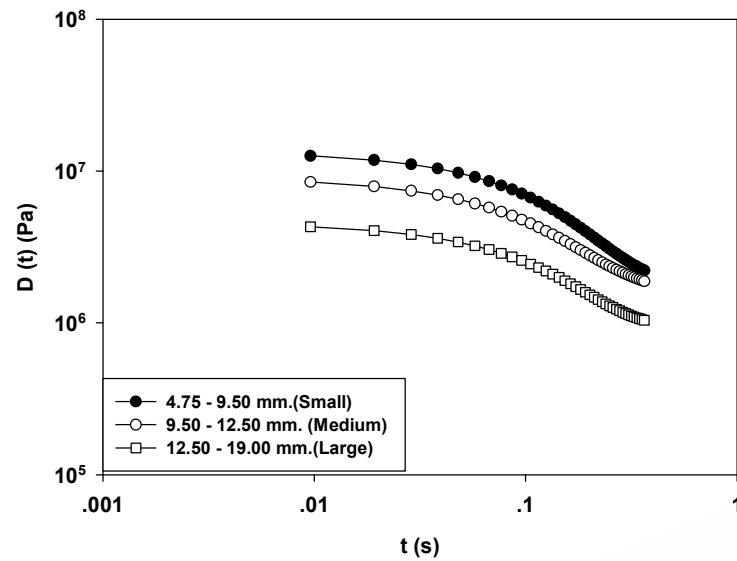
รูปที่ 13 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



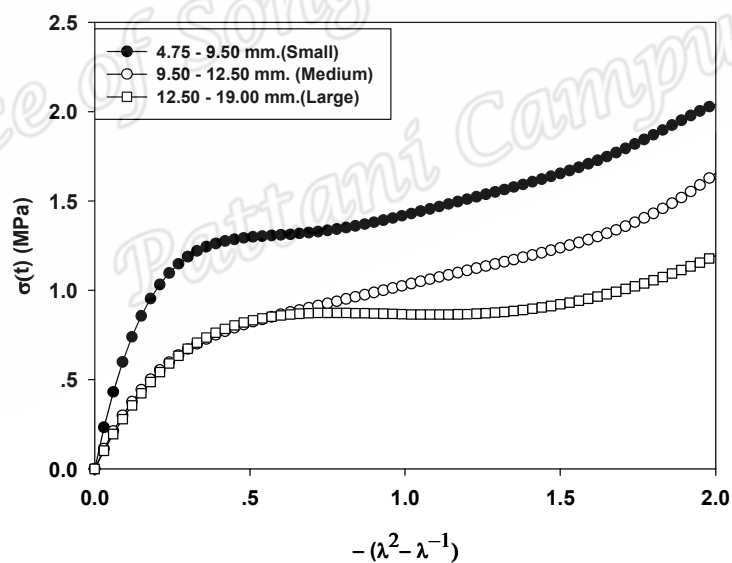
รูปที่ 14 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



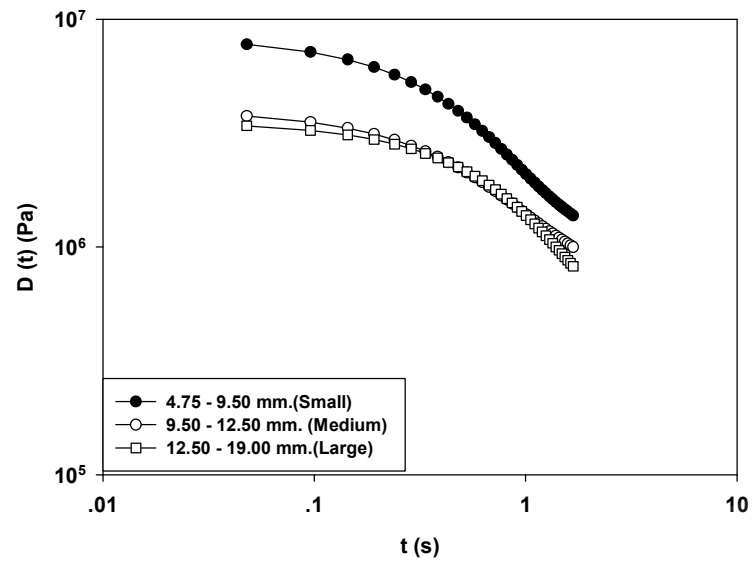
รูปที่ 15 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



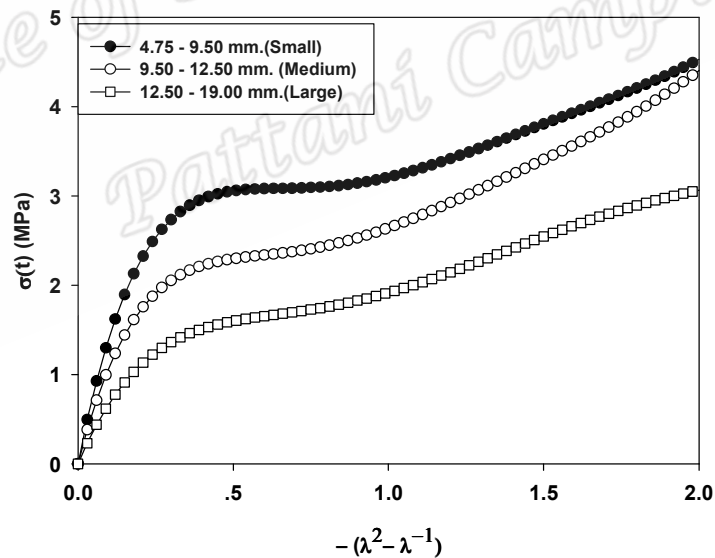
รูปที่ 16 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



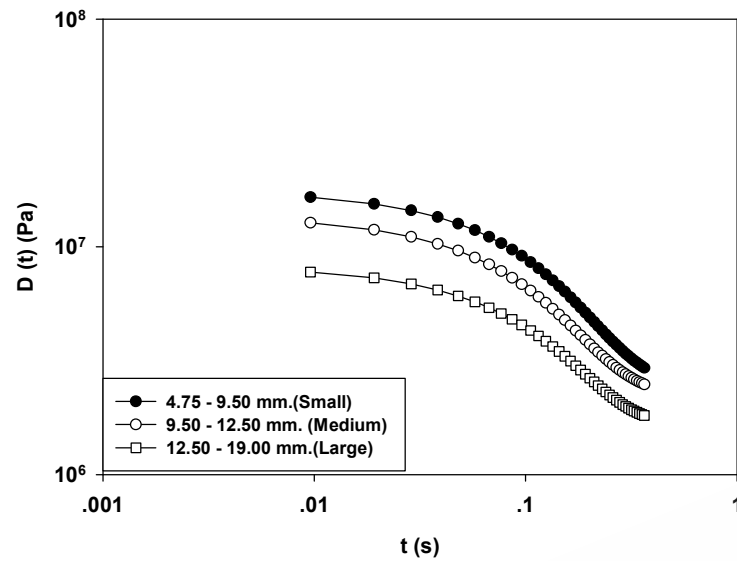
รูปที่ 17 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



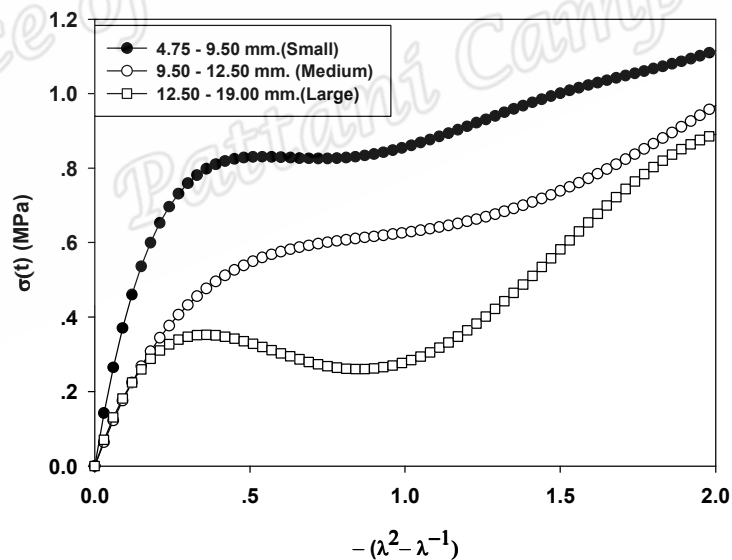
รูปที่ 18 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



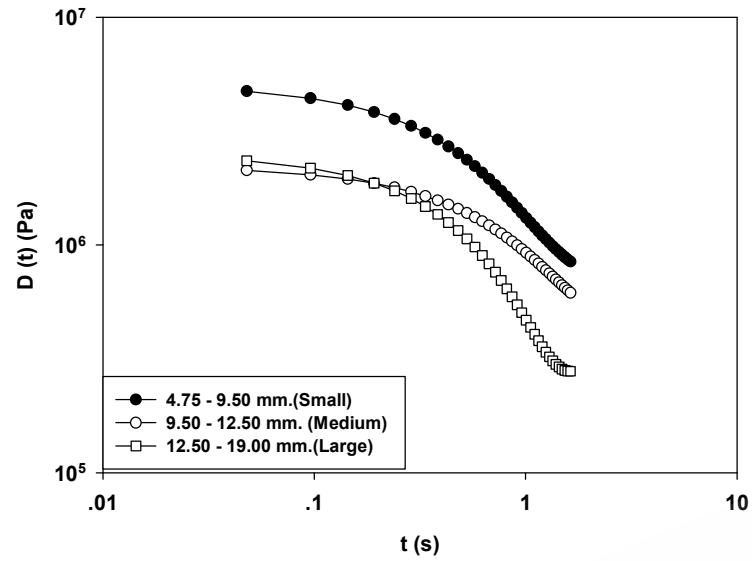
รูปที่ 19 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



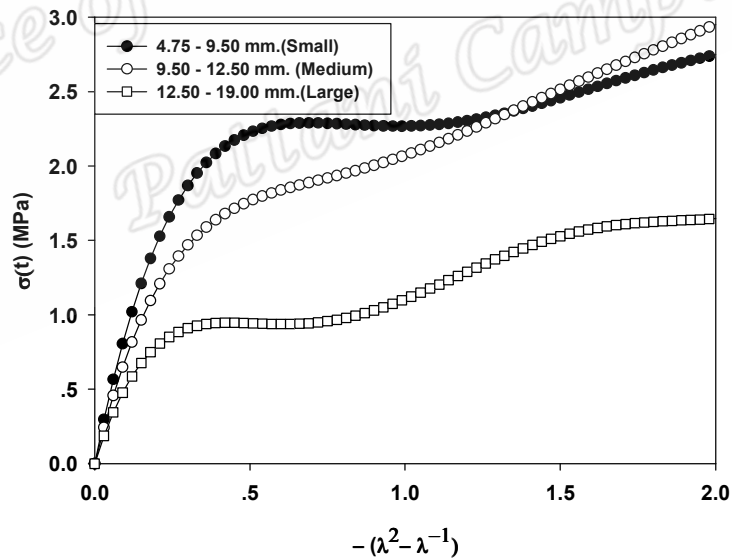
รูปที่ 20 มอดูลัสการกด  $D(t)$  กับ เวลาที่ใช้ในการกด  $t$  ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 10 นาที



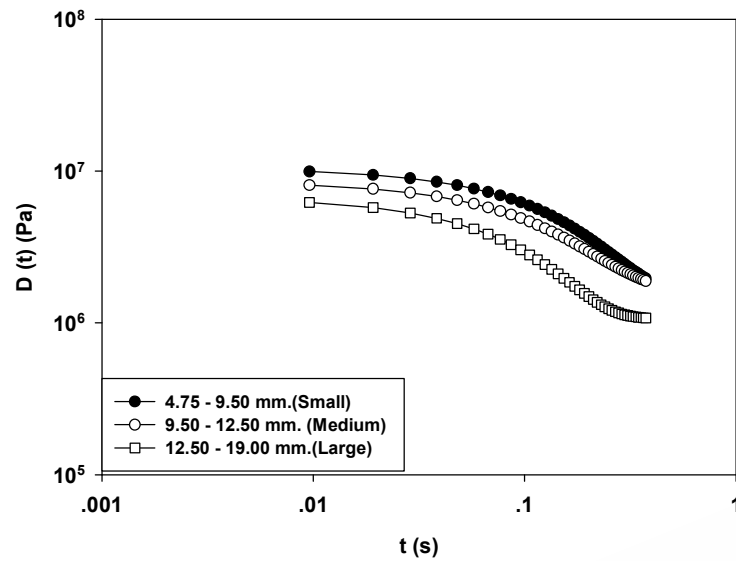
รูปที่ 21 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที



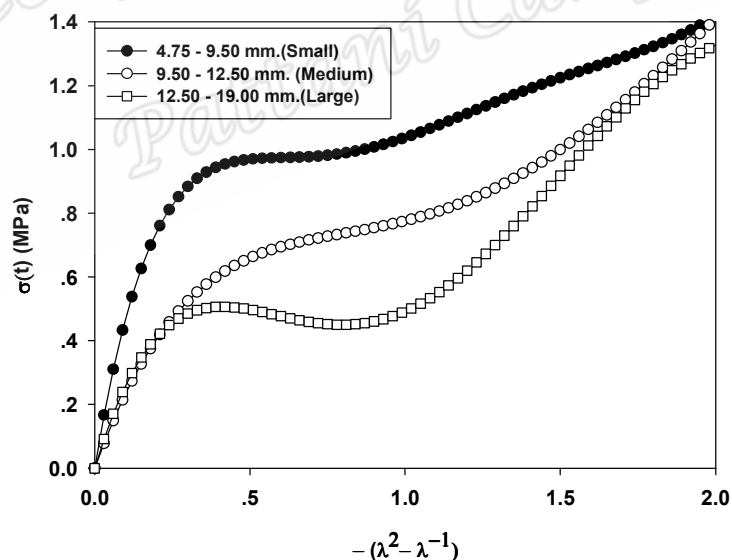
รูปที่ 22 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที



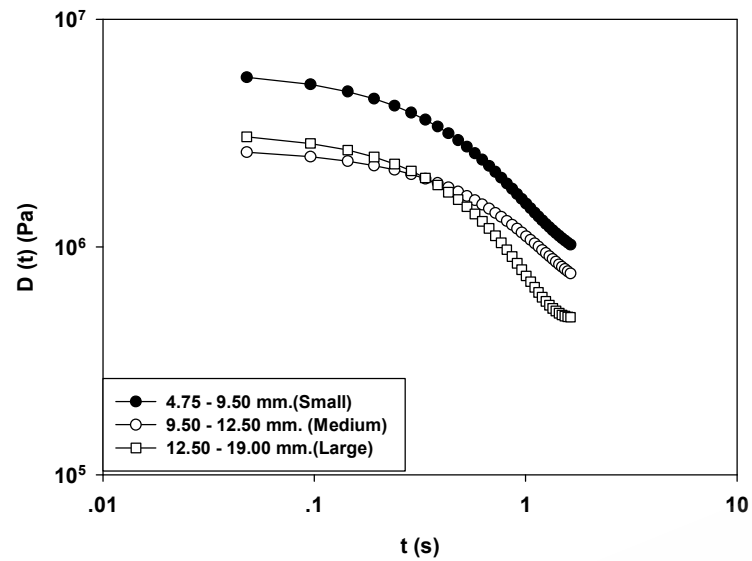
รูปที่ 23 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที



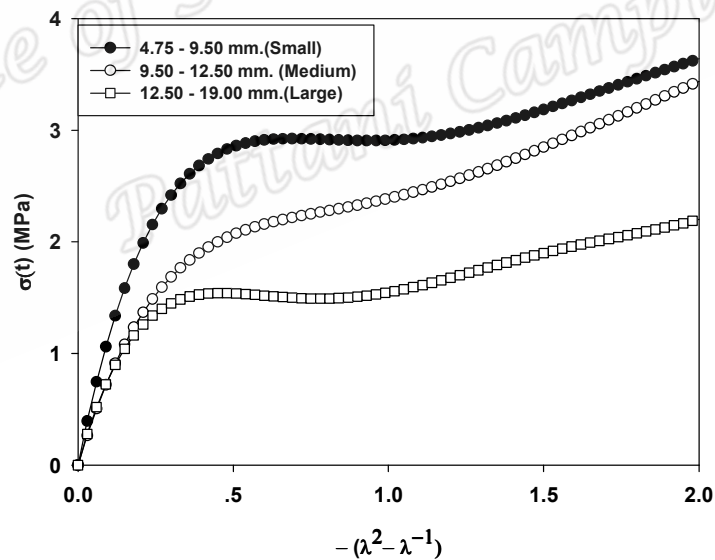
รูปที่ 24 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 25 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที

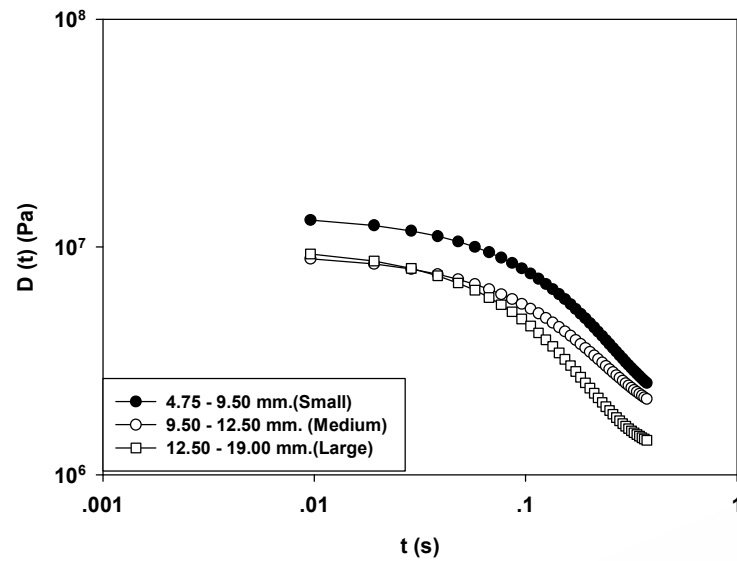


รูปที่ 26 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 27 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที





รูปที่ 28 มอดูลัสการกกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที บดเป็นเวลา 30 นาที

ตาราง 1 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 0 นาที

ช่วงขนาดวัสดุ รวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บดเป็นเวลา 0 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 - 9.50	0.4537	0.9572	0.5975	1.4975	0.7440	1.8337
9.50 - 12.50	0.1264	0.5000	0.3137	1.1613	0.4052	1.5077
12.50 - 19.00	0.0611	0.2187	0.1168	0.3434	0.1668	0.4330

ตาราง 2 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 0 นาที

ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa)กับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 1.5 บดเป็นเวลา 0 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 -9.50	0.7873	1.8820	1.2018	3.0316	1.6185	3.5805
9.50 -12.50	0.4103	1.4600	0.9049	2.8554	1.0547	3.6512
12.50 -19.00	0.1557	0.5579	0.3314	0.8363	0.4691	0.9950

ตาราง 3 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 10 นาที

ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa)กับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 0.15 บดเป็นเวลา 10 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 -9.50	0.4537	0.9572	0.6720	1.4616	0.8562	1.8952
9.50 -12.50	0.1264	0.5000	0.3089	0.9773	0.4429	1.4417
12.50 -19.00	0.0611	0.2187	0.2934	0.5115	0.4242	0.9126

ตาราง 4 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 10 นาที

ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 บดเป็นเวลา 10 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 -9.50	0.7873	1.8820	1.2769	2.8418	1.6536	3.8057
9.50 -12.50	0.4103	1.4600	0.9217	2.4972	1.2374	3.4069
12.50 -19.00	0.1557	0.5579	0.6479	1.4291	0.9211	2.5457

ตาราง 5 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 30 นาที

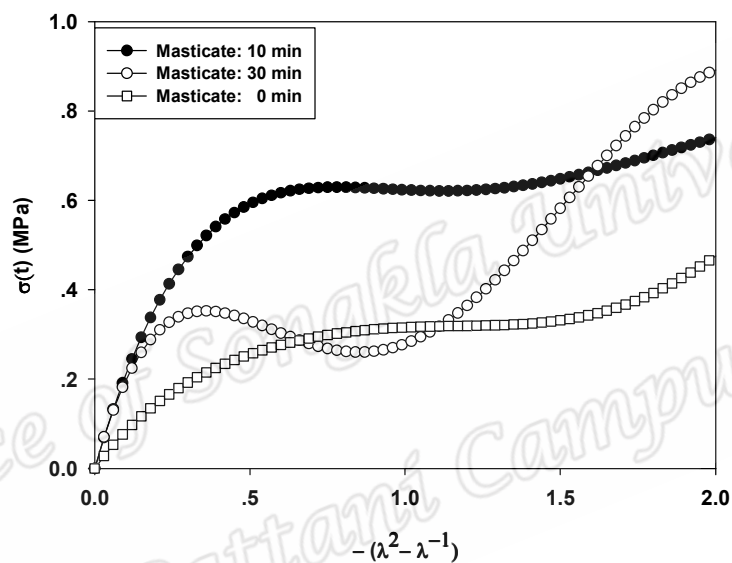
ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บดเป็นเวลา 30 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 -9.50	0.4537	0.9572	0.5360	1.2105	0.6260	1.5846
9.50 -12.50	0.1264	0.5000	0.2681	0.9652	0.3269	1.0823
12.50 -19.00	0.0611	0.2187	0.2595	0.6764	0.3475	1.0425

ตาราง 6 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 30 นาที

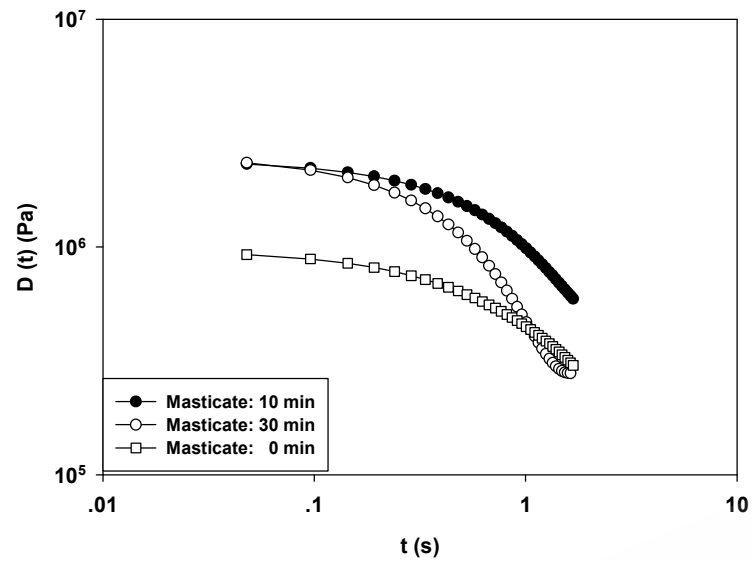
ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซี่ที่ 1.5 บดเป็นเวลา 30 นาที					
	ยางธรรมชาติ : 0 %		ยางธรรมชาติ : 5 %		ยางธรรมชาติ : 8 %	
	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที	50 มิลลิเมตร ต่อนาที	250 มิลลิเมตร ต่อนาที
4.75 -9.50	0.7873	1.8820	1.1000	2.4576	1.2242	3.1857
9.50 -12.50	0.4103	1.4600	0.7385	2.5142	0.9990	2.8492
12.50 -19.00	0.1557	0.5579	0.5820	1.5281	0.9173	1.9002

### การศึกษาค่าอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติ

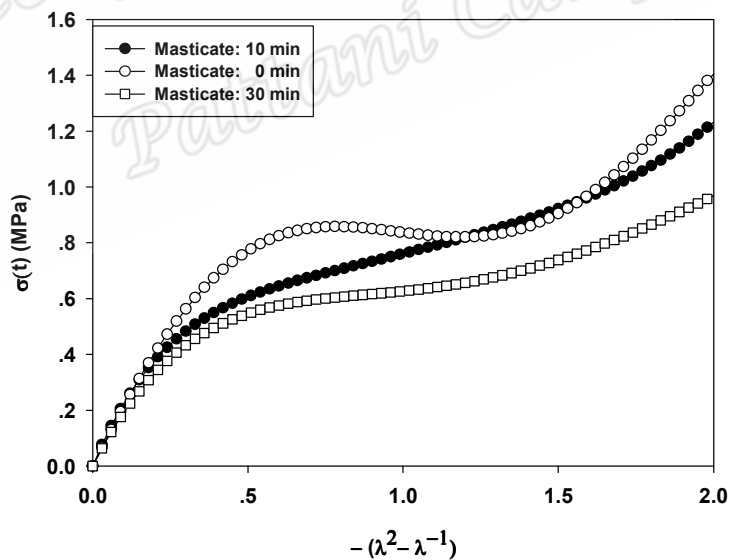
สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30) 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50) และ 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11) ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



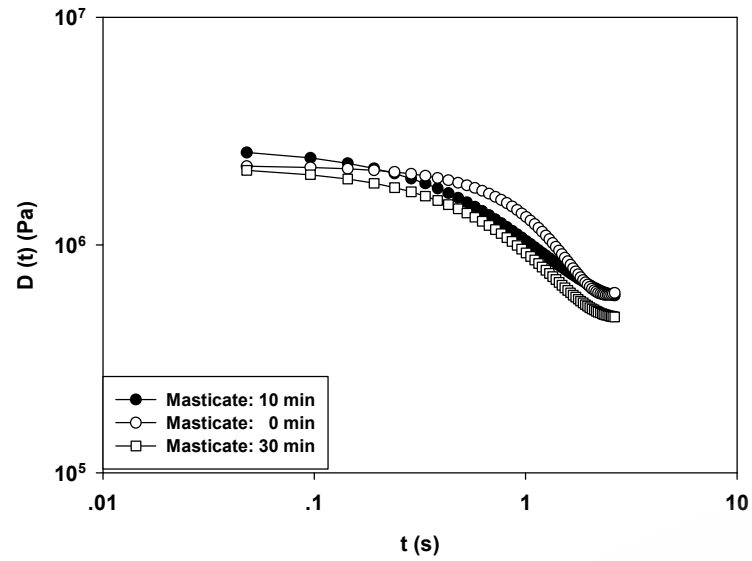
รูปที่ 29 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



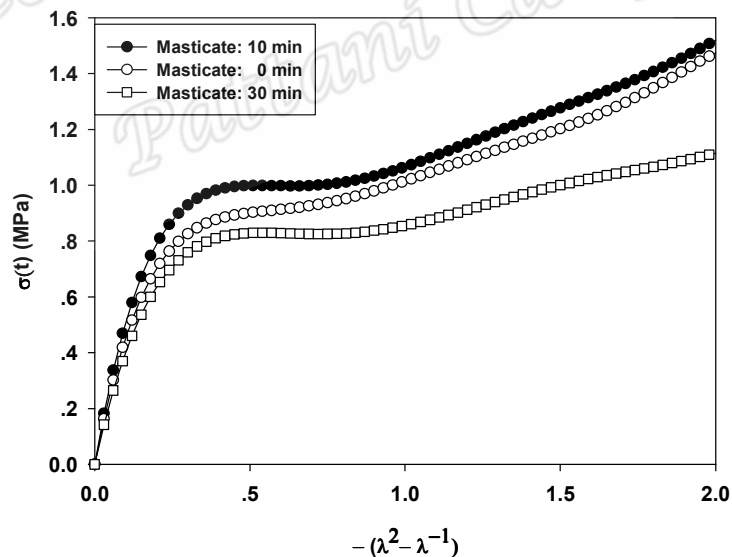
รูปที่ 30 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



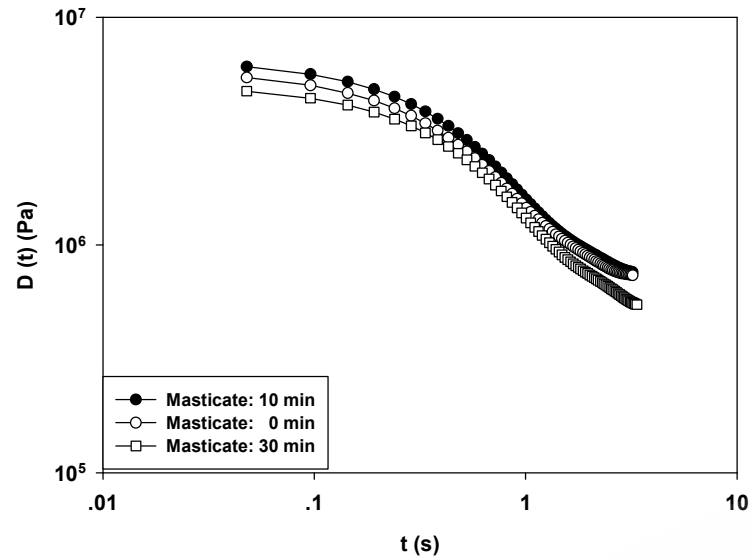
รูปที่ 31 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



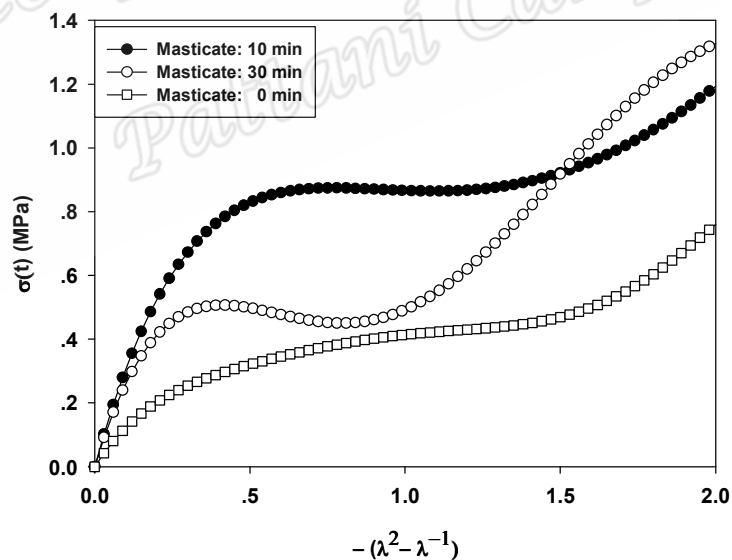
รูปที่ 32 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 33 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

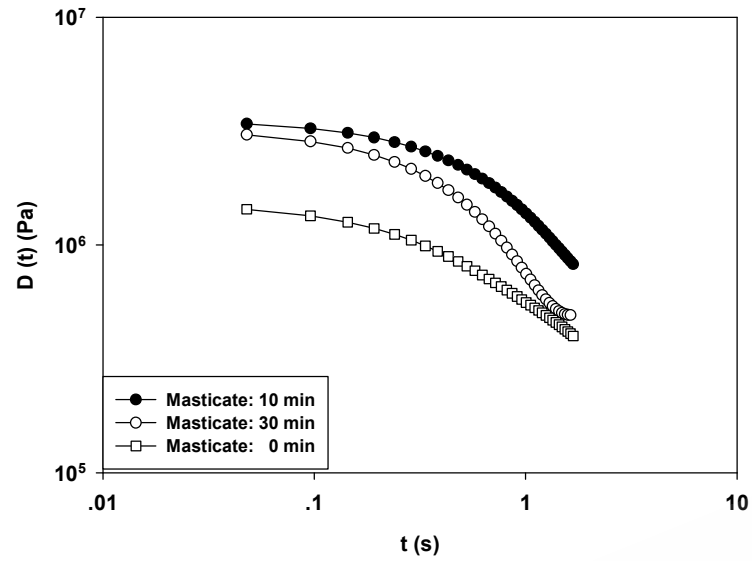


รูปที่ 34 มอดุลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

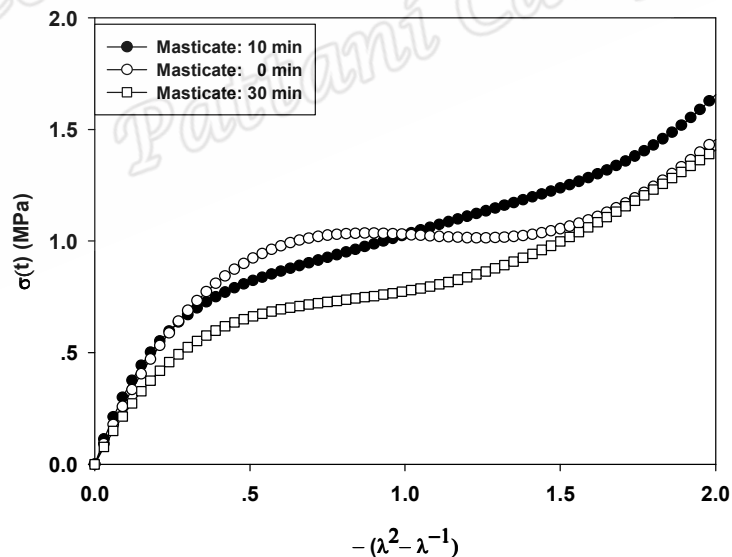


รูปที่ 35 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

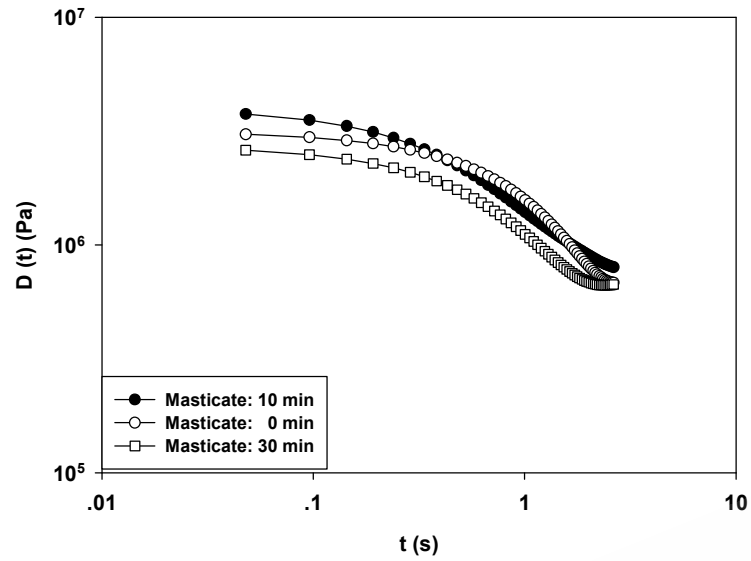




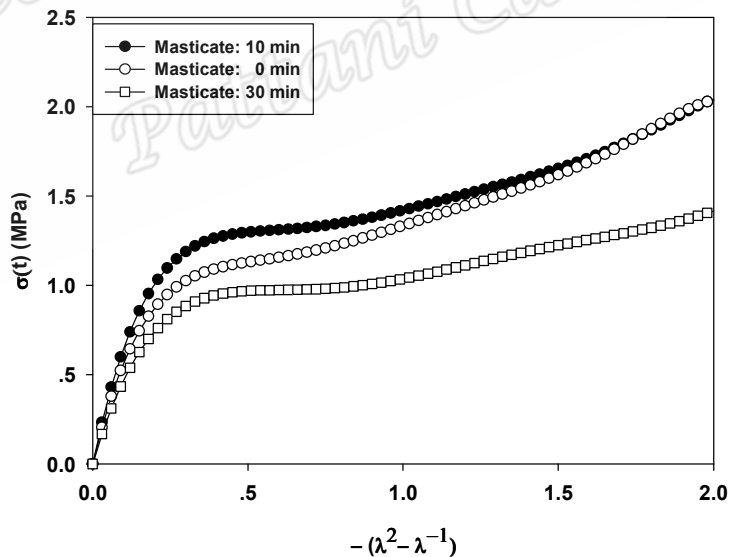
รูปที่ 36 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



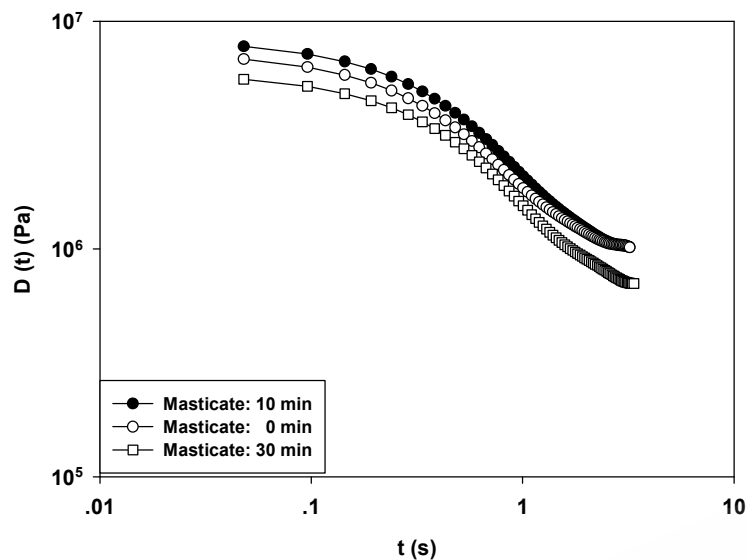
รูปที่ 37 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 38 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 39 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 40 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ตาราง 7 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวมเส้น เมื่อแปรน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

น้ำหนักโมเลกุลยางที่ ผ่านการบด (นาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ปริมาณยางธรรมชาติ 5 %		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.1168	0.3137	0.5975
10	0.2934	0.3089	0.6720
30	0.2595	0.2681	0.5360

**ตาราง 8** แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

น้ำหนักโมเลกุลยางที่ ผ่านการบด (นาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ปริมาณยางธรรมชาติ 5 %		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 \\ มิลลิเมตร
0	0.3314	0.9049	1.2018
10	0.6479	0.9217	1.2769
30	0.5820	0.7385	1.0007

**ตาราง 9** แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรน้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

น้ำหนักโมเลกุลยางที่ ผ่านการบด (นาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ปริมาณยางธรรมชาติ 8 %		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.1668	0.4052	0.7440
10	0.4242	0.4429	0.8562
30	0.3475	0.3269	0.6260

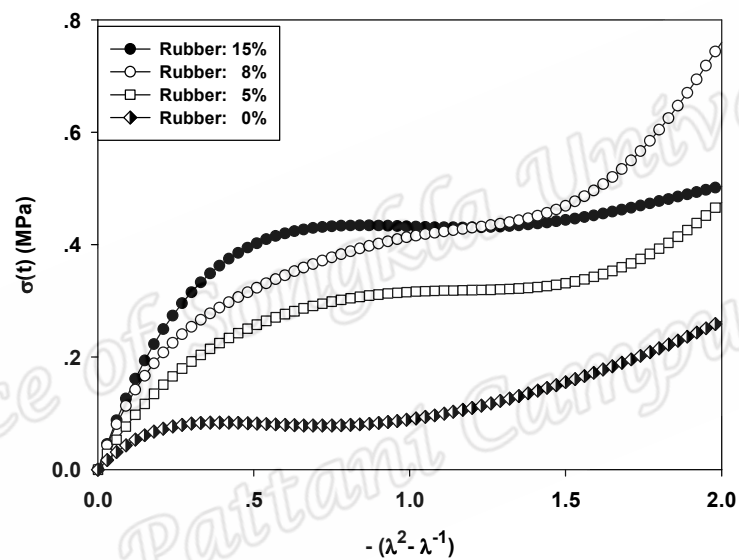
**ตาราง 10** แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรน้ำหนักรีดยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที, 10 นาที, 30 นาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

น้ำหนักรีดยางที่ ผ่านการบด (นาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ปริมาณยางธรรมชาติ 8 %		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.4691	1.0547	1.6185
10	0.9211	1.2374	1.6536
30	0.9173	0.9990	1.2242

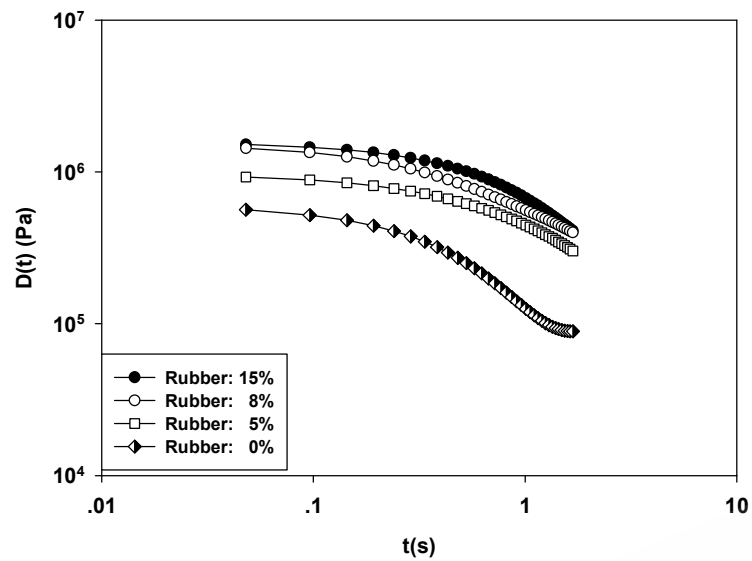
Prince of Songkla University  
Pattani Campus

### การศึกษาอิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ

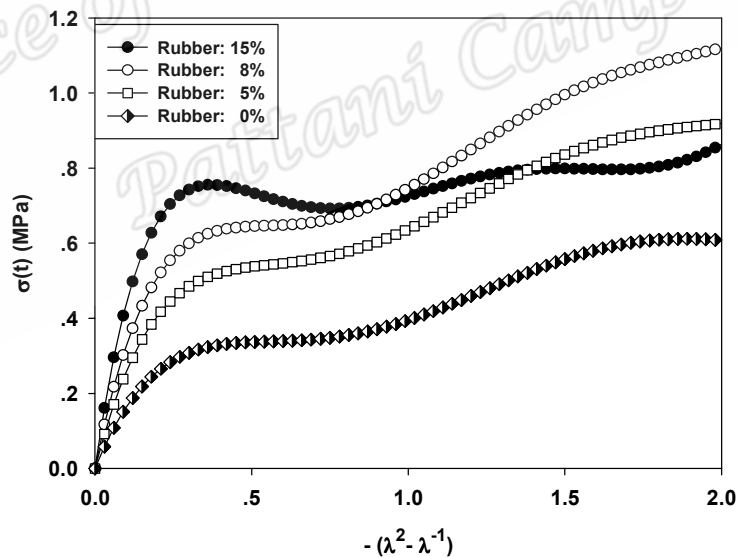
สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30) 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50) และ 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11) ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



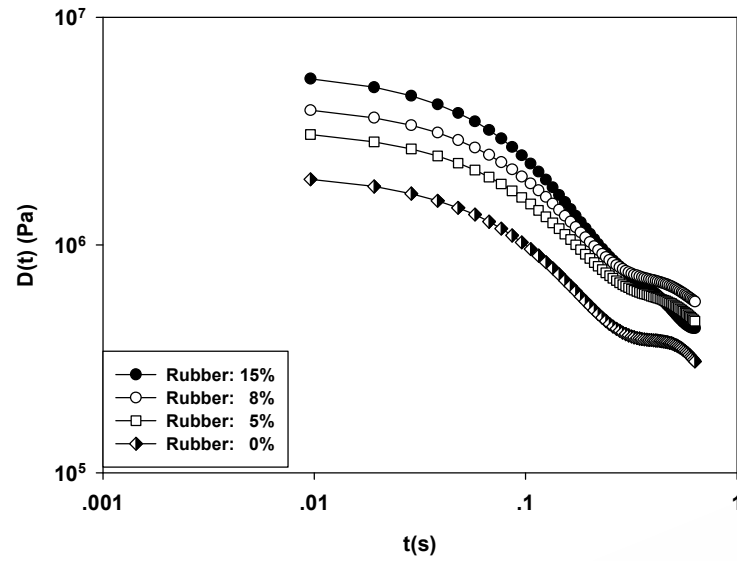
รูปที่ 41 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



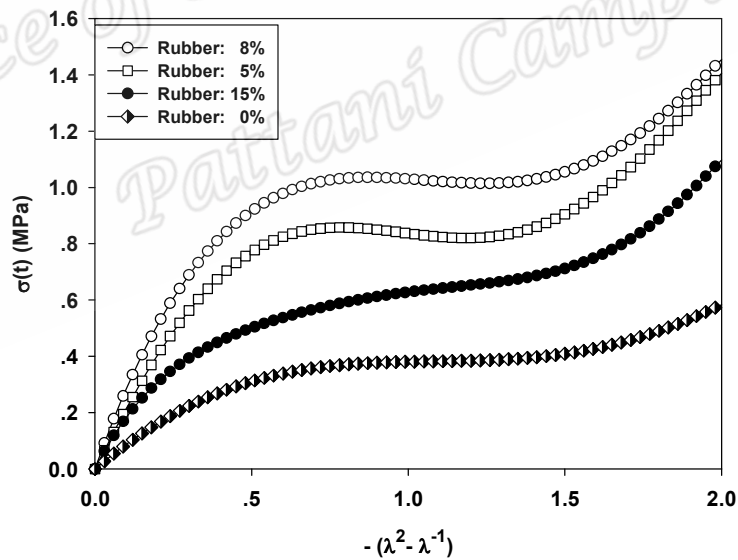
รูปที่ 42 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 43 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

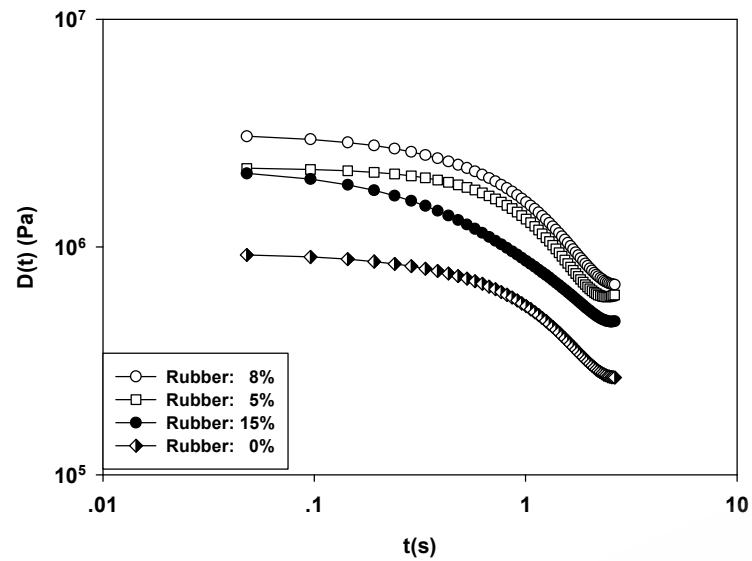


รูปที่ 44 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

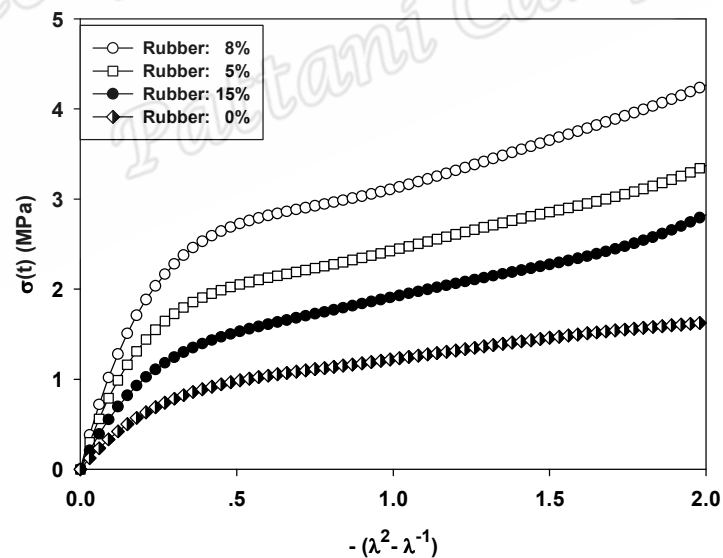


รูปที่ 45 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร

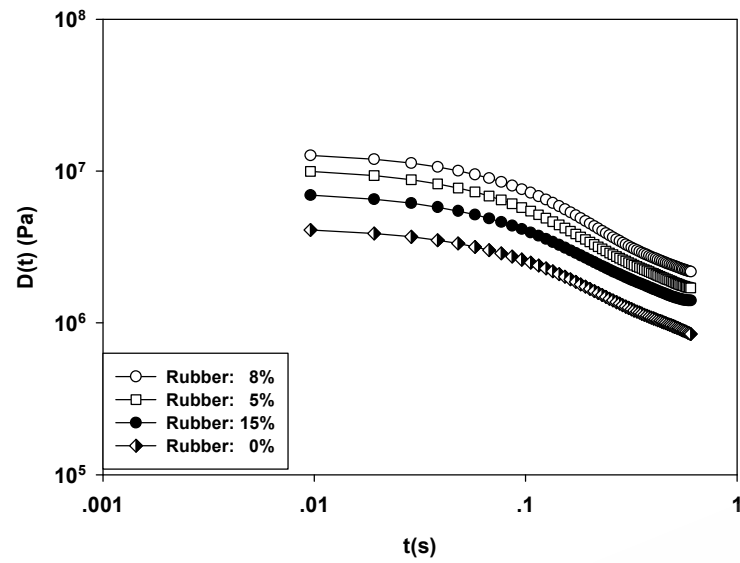




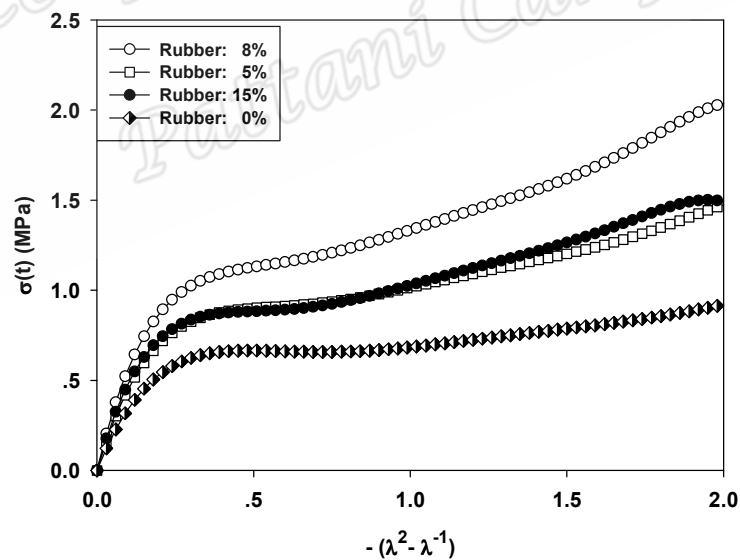
รูปที่ 46 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



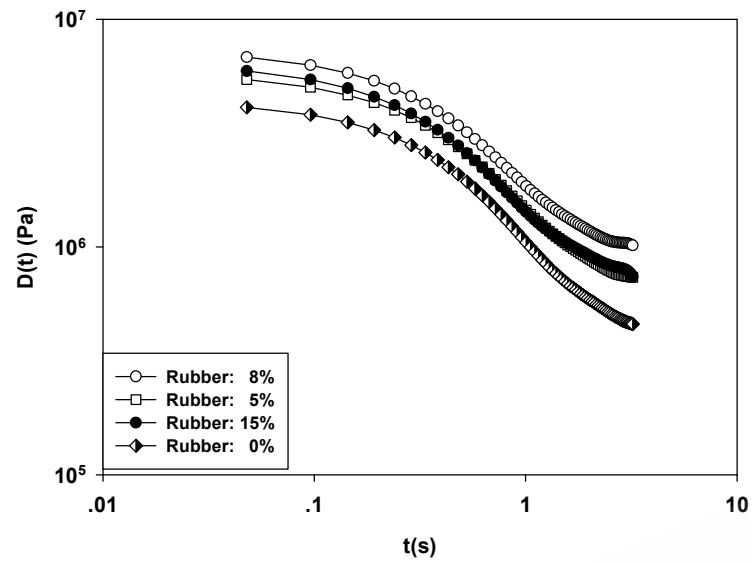
รูปที่ 47 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกจี่ ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



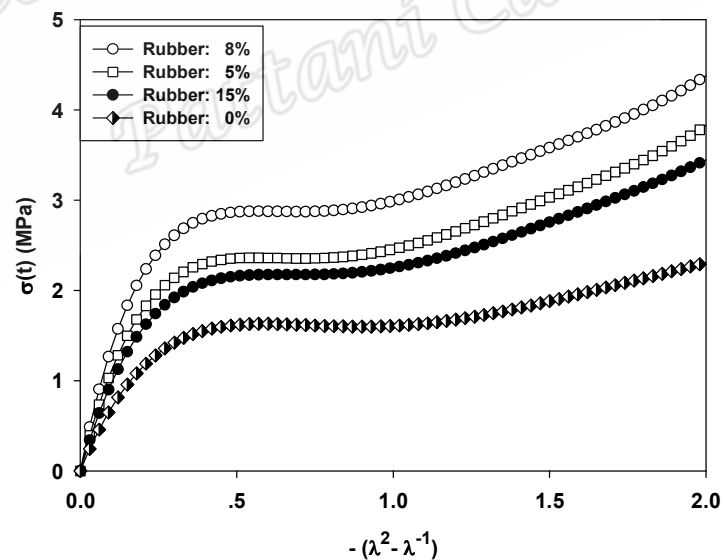
รูปที่ 48 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



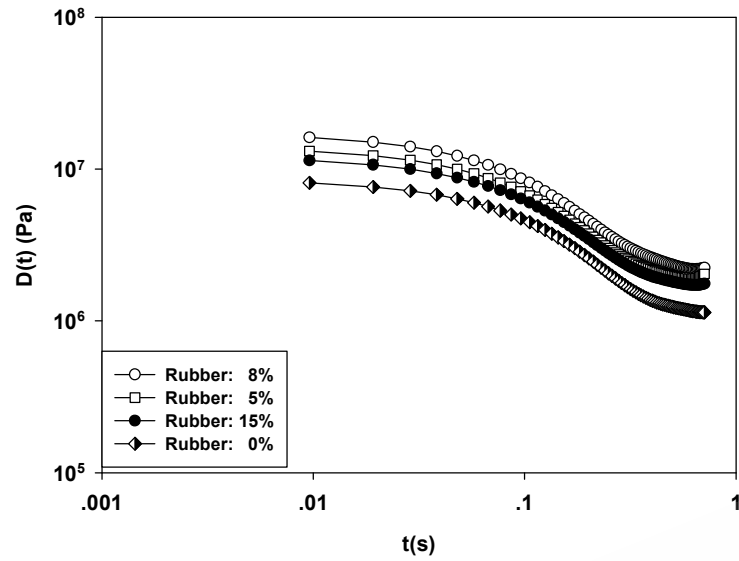
รูปที่ 49 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



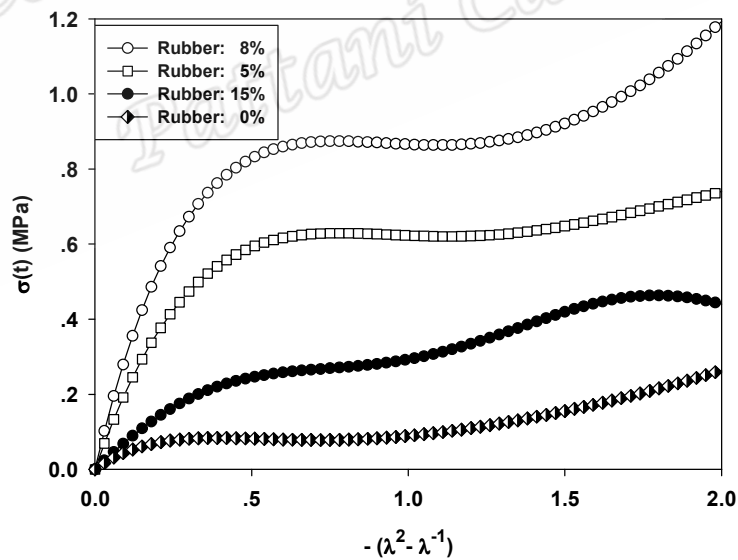
รูปที่ 50 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



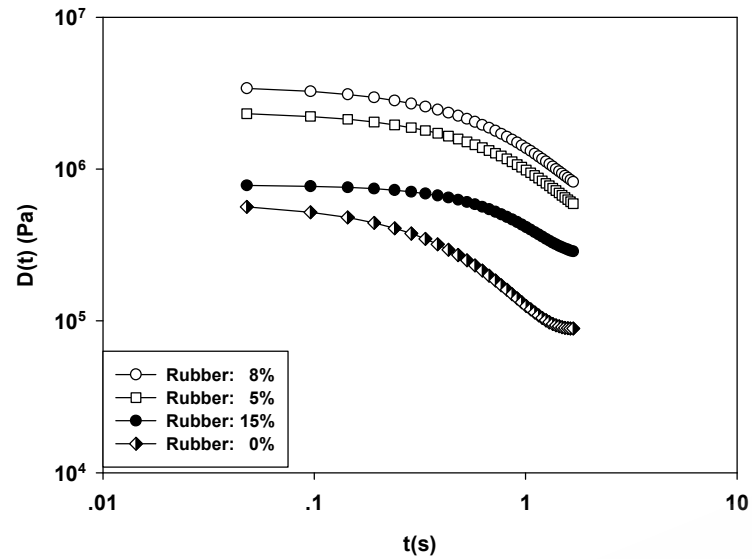
รูปที่ 51 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วในการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



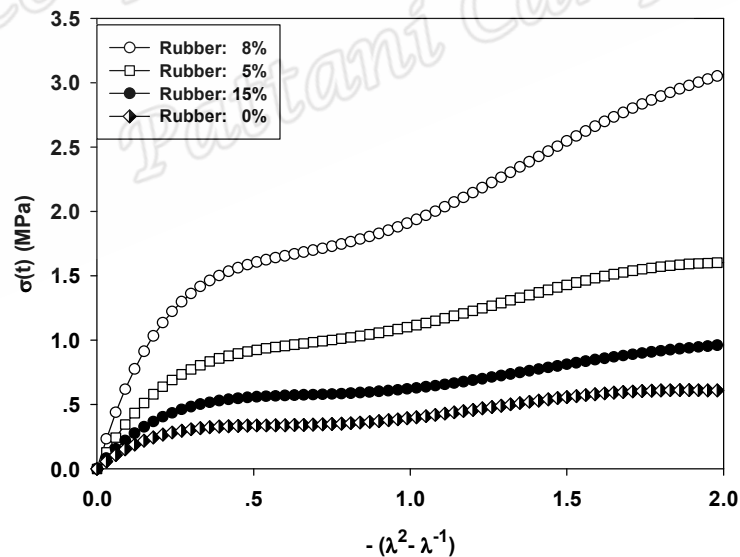
รูปที่ 52 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



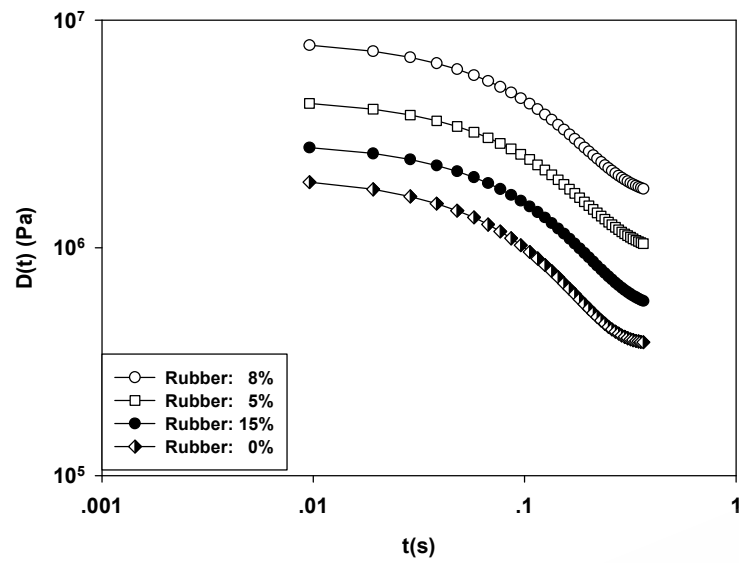
รูปที่ 53 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



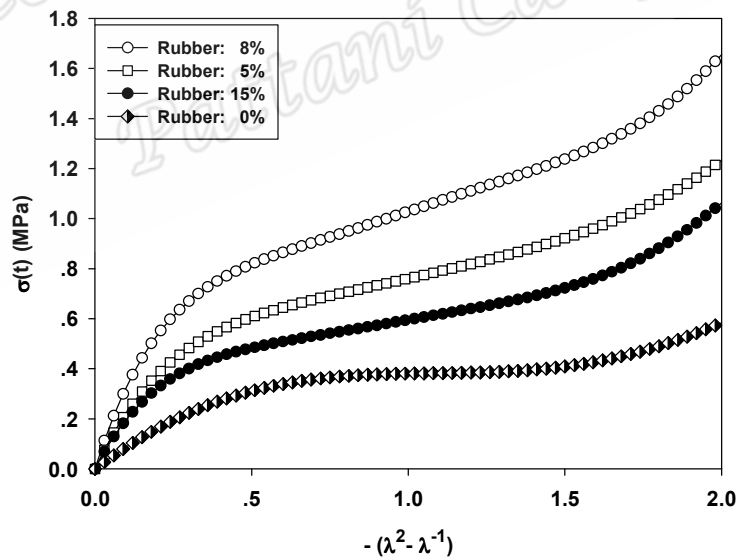
รูปที่ 54 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



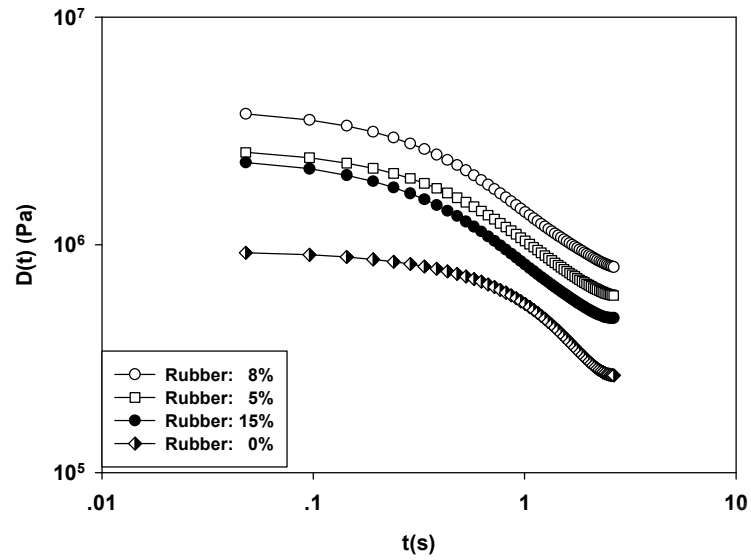
รูปที่ 55 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



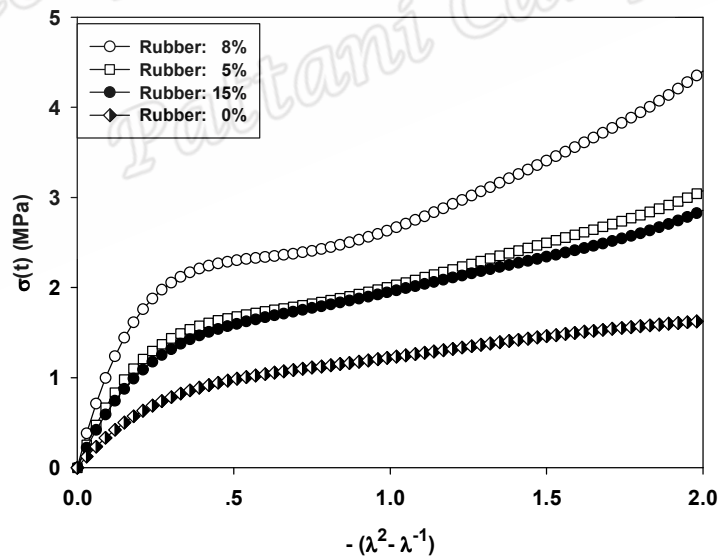
รูปที่ 56 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



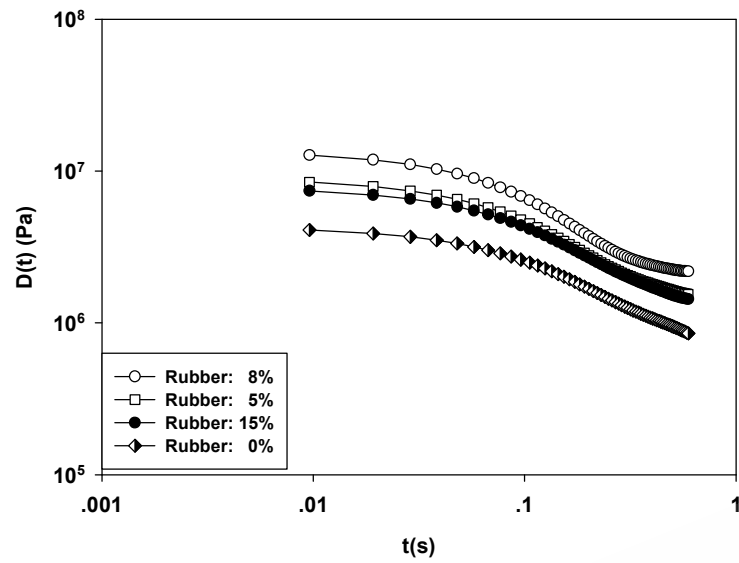
รูปที่ 57 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



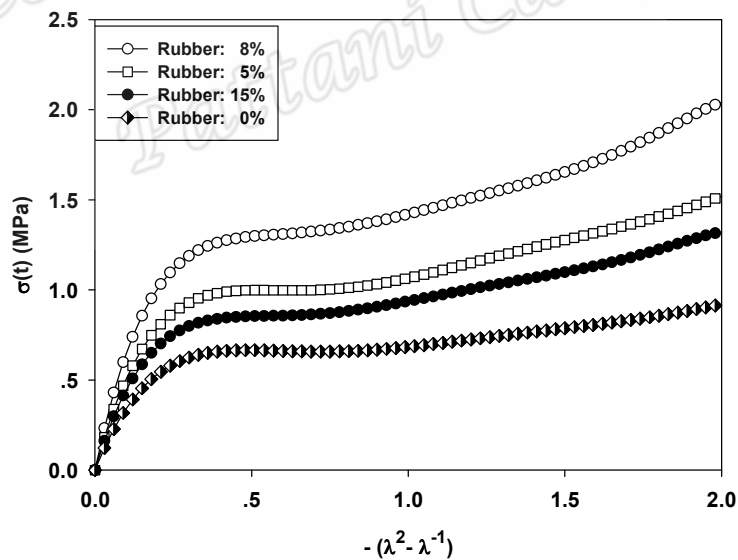
รูปที่ 58 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 59 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร

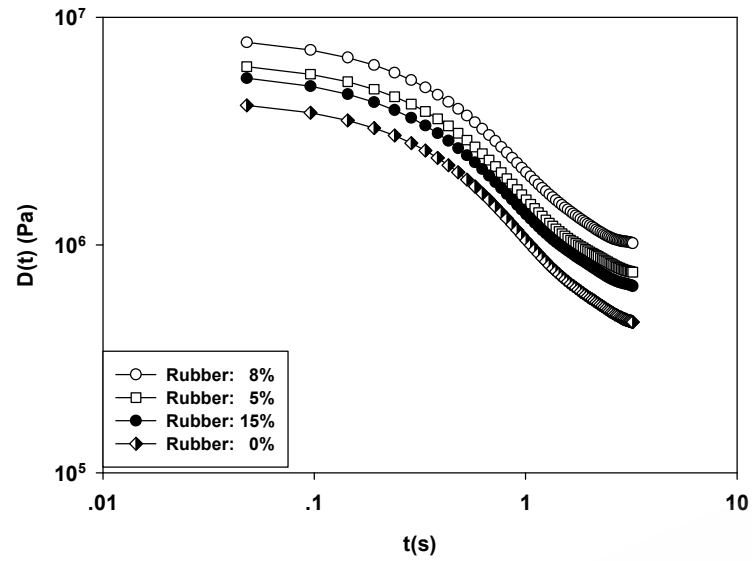


รูปที่ 60 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร

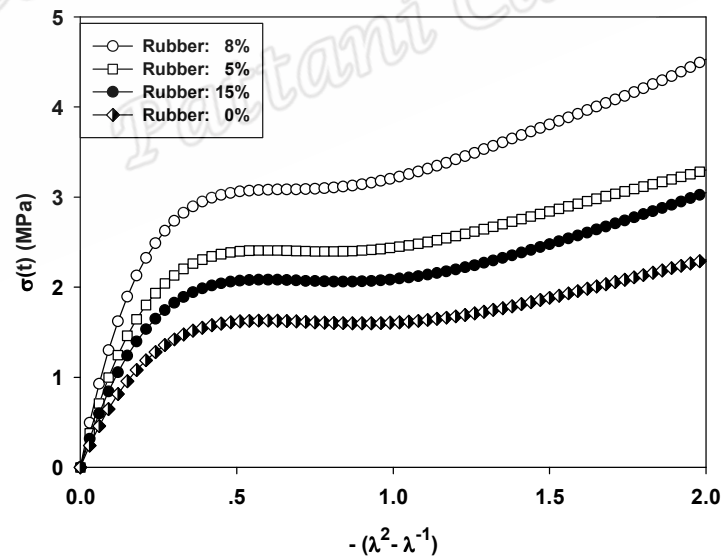


รูปที่ 61 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

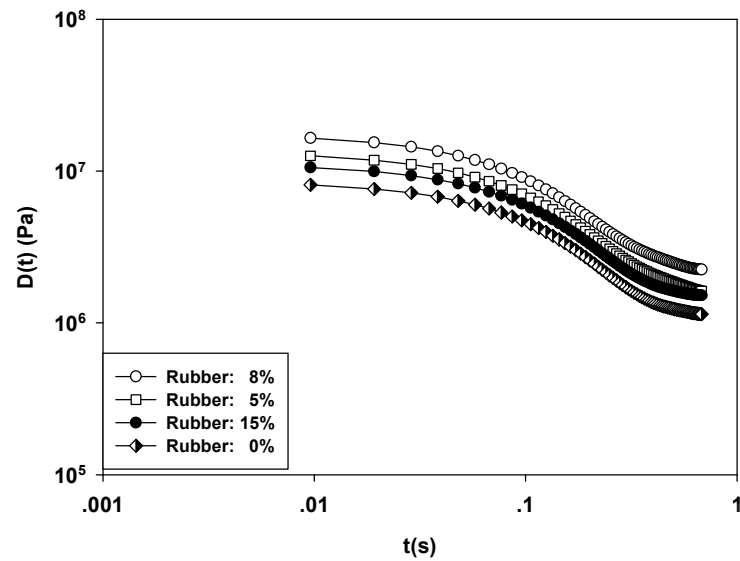




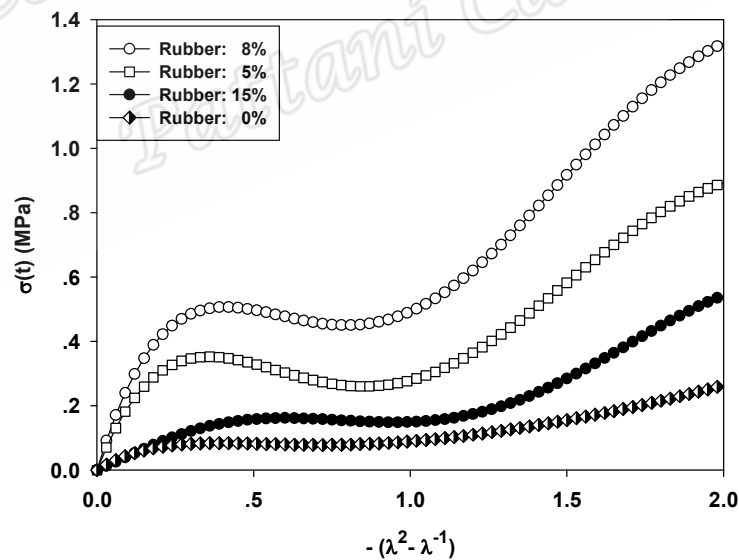
รูปที่ 62 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



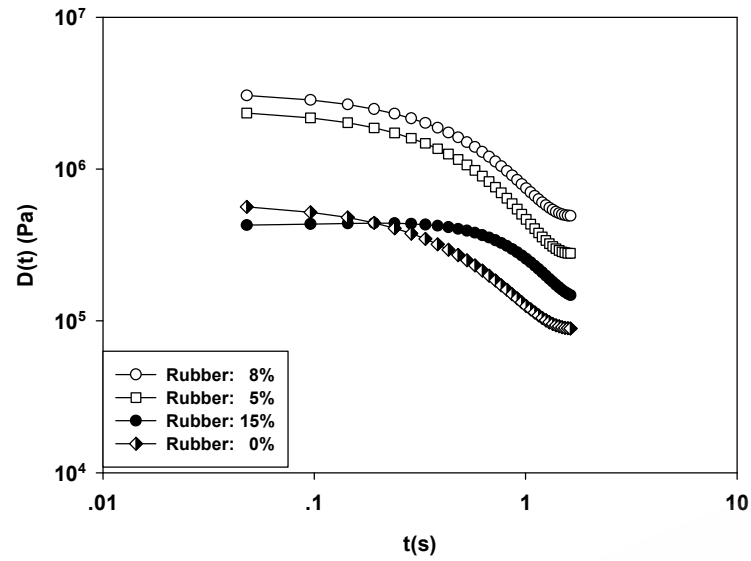
รูปที่ 63 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



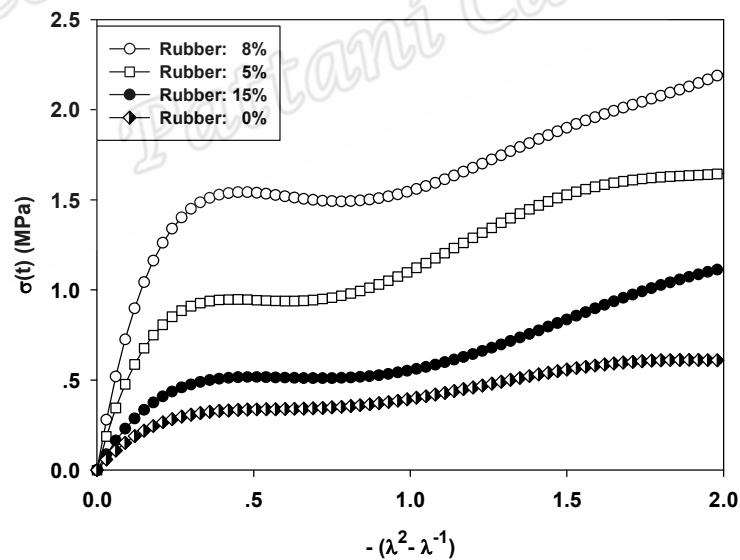
รูปที่ 64 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



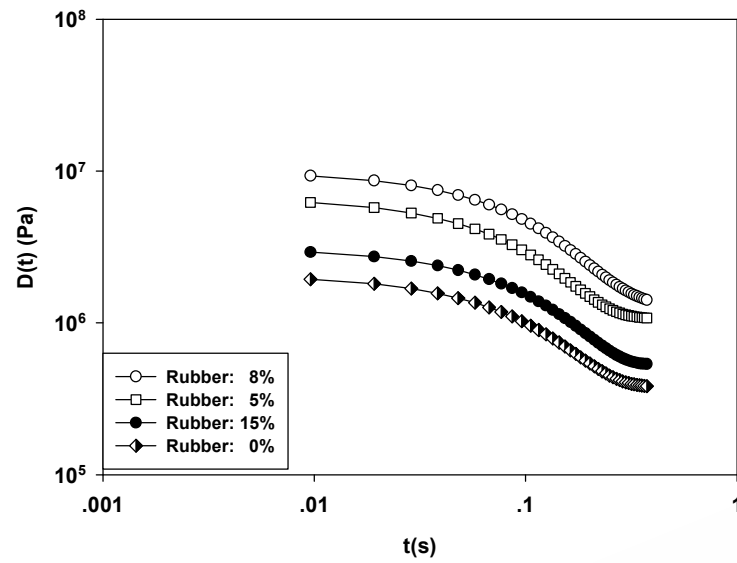
รูปที่ 65 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



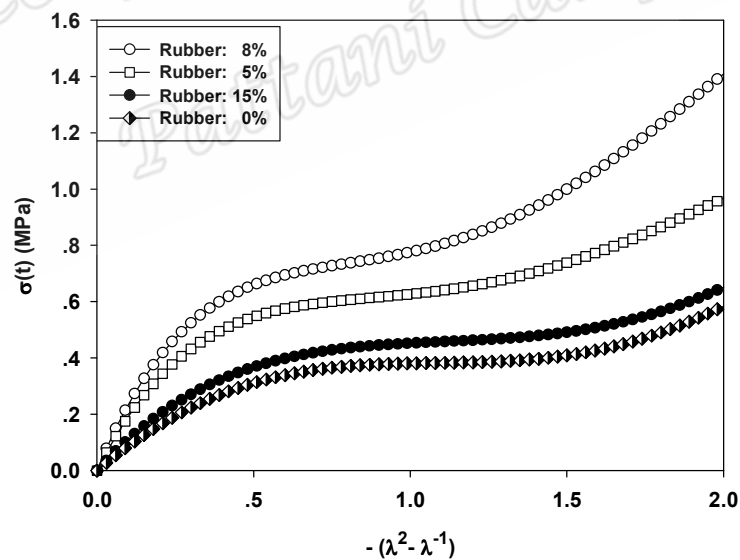
รูปที่ 66 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



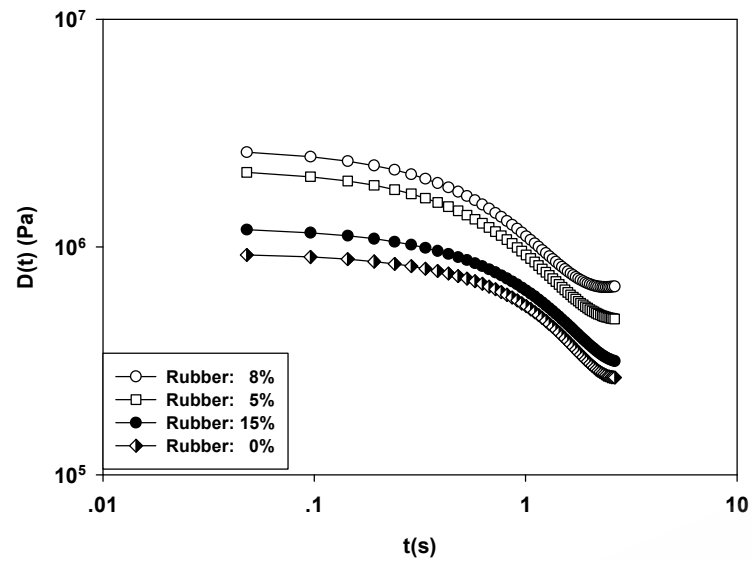
รูปที่ 67 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



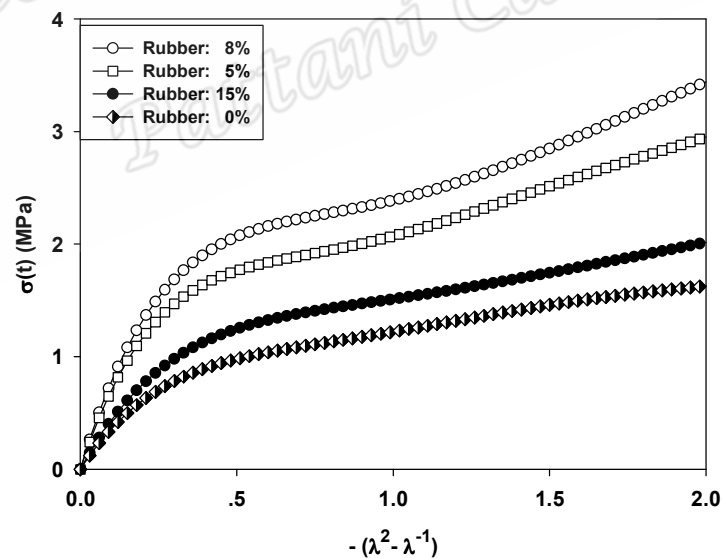
รูปที่ 68 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



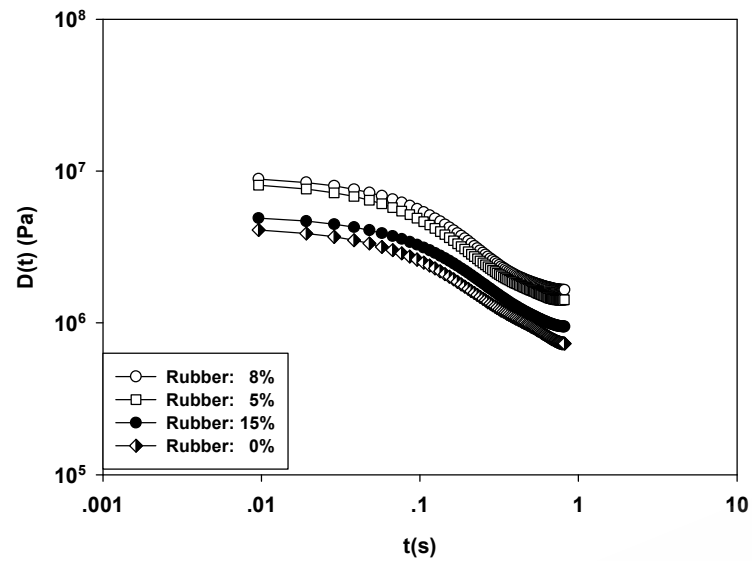
รูปที่ 69 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกจี้ ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 50, 150 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.0 - 12.50 มิลลิเมตร



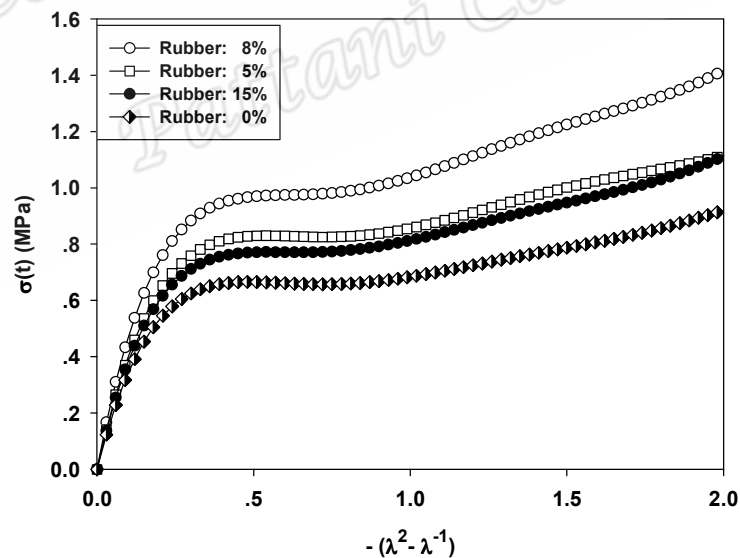
รูปที่ 70 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



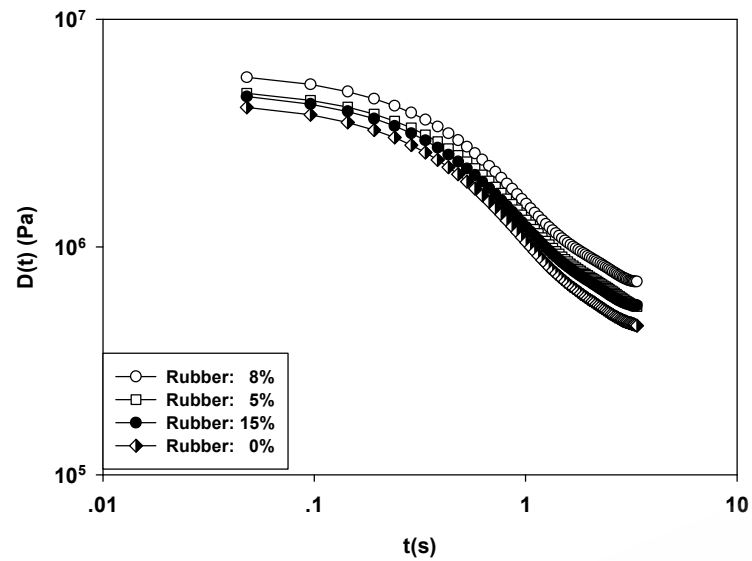
รูปที่ 71 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



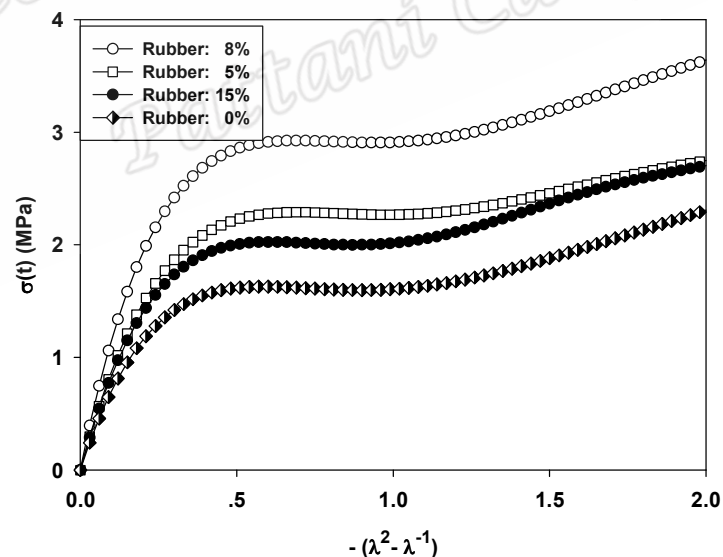
รูปที่ 72 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อวินาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



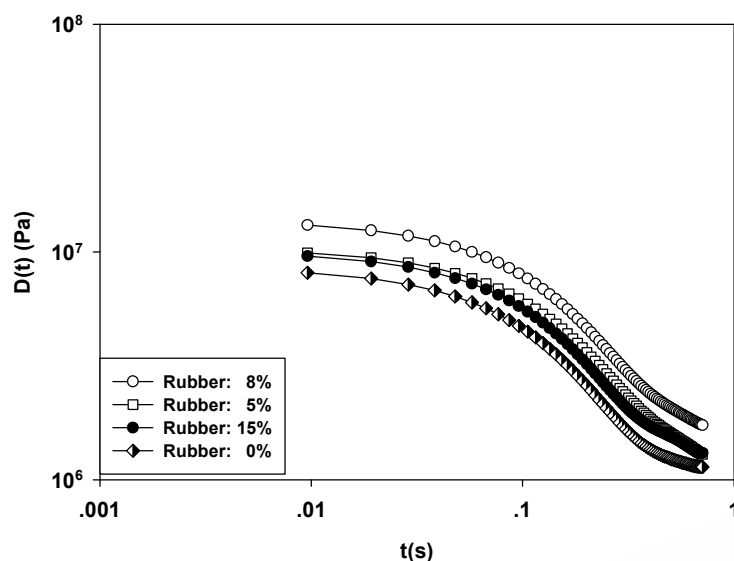
รูปที่ 73 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อวินาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 74 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 75 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 76 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ตาราง 11 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกอด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บด 0 นาที					
	ความเร็วการกอด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกอด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.0611	0.1265	0.4537	0.2187	0.5000	0.9572
5	0.1168	0.3137	0.5975	0.3434	1.1613	1.4975
8	0.1668	0.4052	0.7440	0.4330	1.5077	1.8337
15	0.1935	0.2520	0.6294	0.5702	0.8192	1.3183



ตาราง 12 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของ โกซีที่ 1.5 บด 0 นาที					
	ความเร็วการกด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.1555	0.4092	0.7873	0.5579	1.4601	1.8820
5	0.3314	0.9049	1.2018	0.8363	2.8554	3.0315
8	0.4691	1.0547	1.6185	0.9950	3.6512	3.5805
15	0.4437	0.7115	1.2642	0.7988	2.2726	2.7557

ตาราง 13 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของ โกซีที่ 0.15 บด 10 นาที					
	ความเร็วการกด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.0611	0.1265	0.4537	0.2187	0.5000	0.9572
5	0.2934	0.3089	0.6720	0.5115	0.9773	1.4616
8	0.4242	0.4429	0.8562	0.9126	1.4417	1.8952
15	0.1089	0.2679	0.5869	0.3250	0.8729	1.2392

**ตาราง 14** แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 10 นาที ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของ โกซีที่ 1.5 บด 10 นาที					
	ความเร็วการกด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.1555	0.4092	0.7873	0.5579	1.4601	1.8820
5	0.6479	0.9217	1.2769	1.4291	2.4972	2.8418
8	0.9211	1.2374	1.6536	2.5457	3.4064	3.8057
15	0.4194	0.7226	1.0981	0.8112	2.3413	2.4762

**ตาราง 15** แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

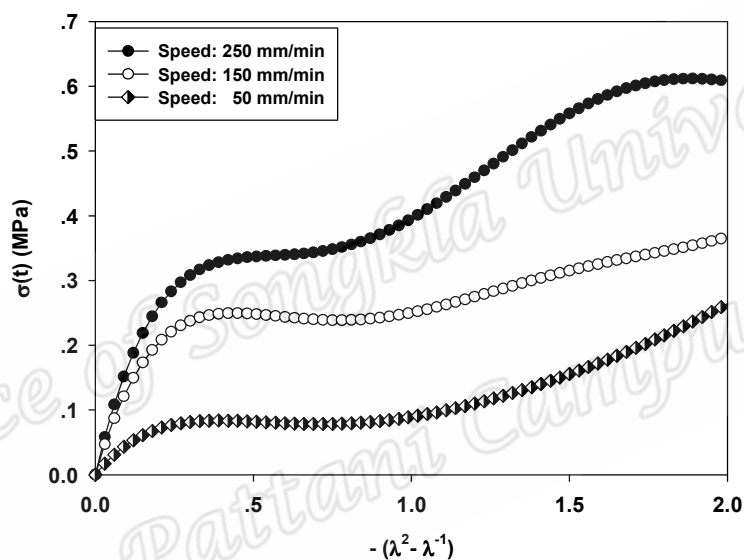
ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของ โกซีที่ 0.15 บด 30 นาที					
	ความเร็วการกด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.0611	0.1265	0.4537	0.2187	0.5000	0.9572
5	0.2595	0.2681	0.5360	0.6764	0.9652	1.2105
8	0.3475	0.3269	0.6260	1.0425	1.0823	1.5846
15	0.0659	0.1580	0.5099	0.3342	0.6119	1.1507

ตาราง 16 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม เมื่อแปรปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร, 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

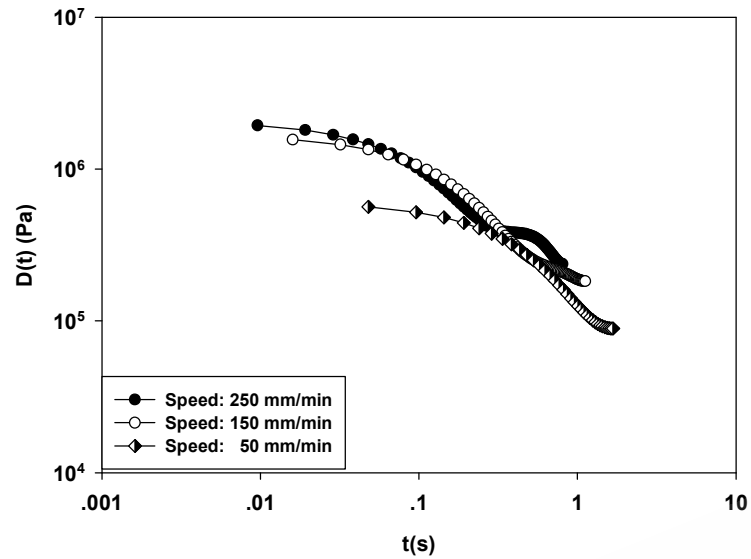
ปริมาณ ยาง ธรรมชาติ (%wt)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของ โกซีที่ 1.5 บด 30 นาที					
	ความเร็วการกด : 50 มิลลิเมตรต่อนาที			ความเร็วการกด : 250 มิลลิเมตรต่อนาที		
	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร	12.50 - 19.00 มิลลิเมตร	9.50 - 12.50 มิลลิเมตร	4.75 - 9.50 มิลลิเมตร
0	0.1555	0.4092	0.7873	0.5579	1.4601	1.8820
5	0.5820	0.7385	1.0007	1.5281	2.5142	2.4576
8	0.9173	0.9990	1.2242	1.9002	2.8492	3.1857
15	0.2842	0.4912	0.9472	0.8361	1.7453	2.3657

### การศึกษาอิทธิพลของความเร็วการกด

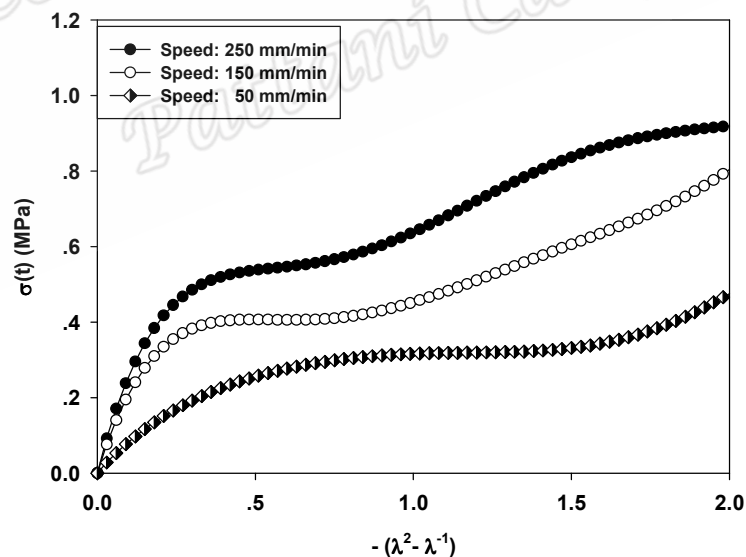
สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30) 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50) และ 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11) และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



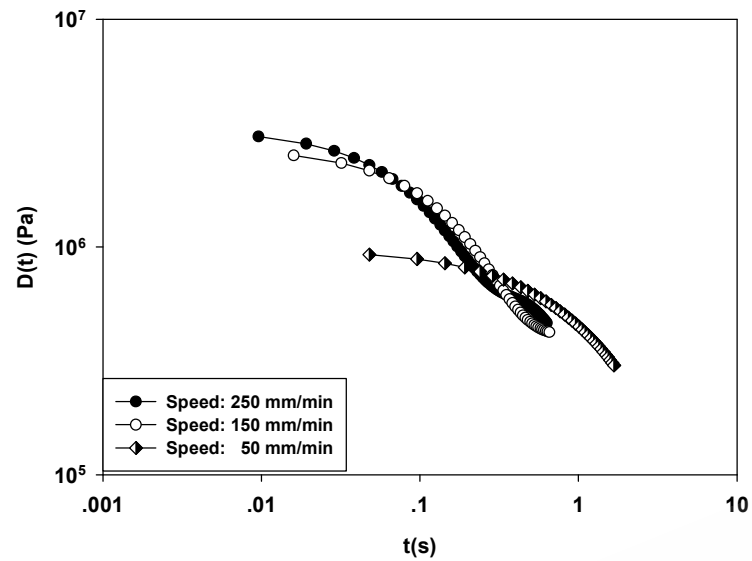
รูปที่ 77 ความสัมพันธ์การเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



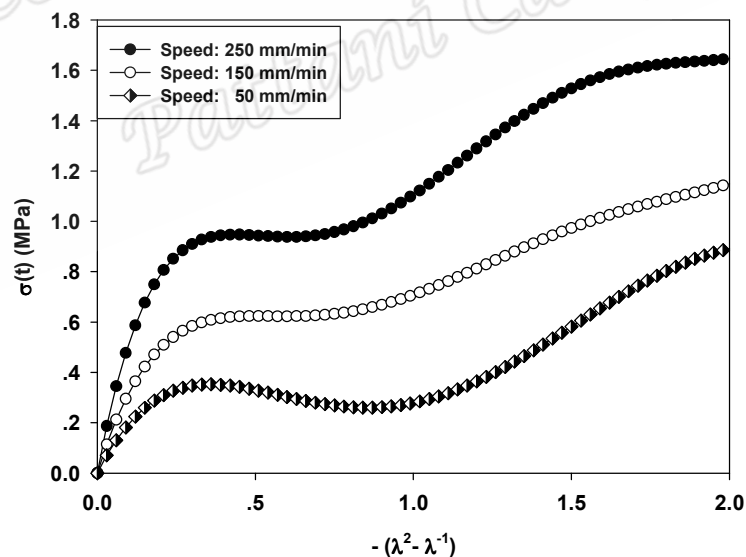
รูปที่ 78 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



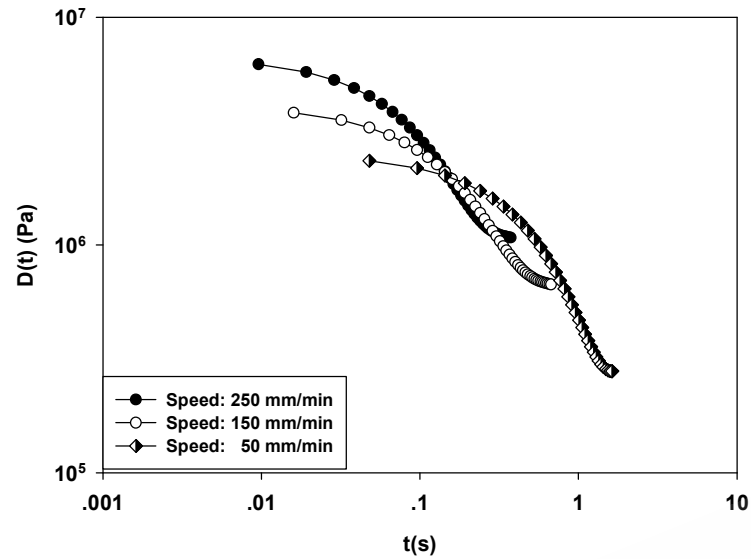
รูปที่ 79 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



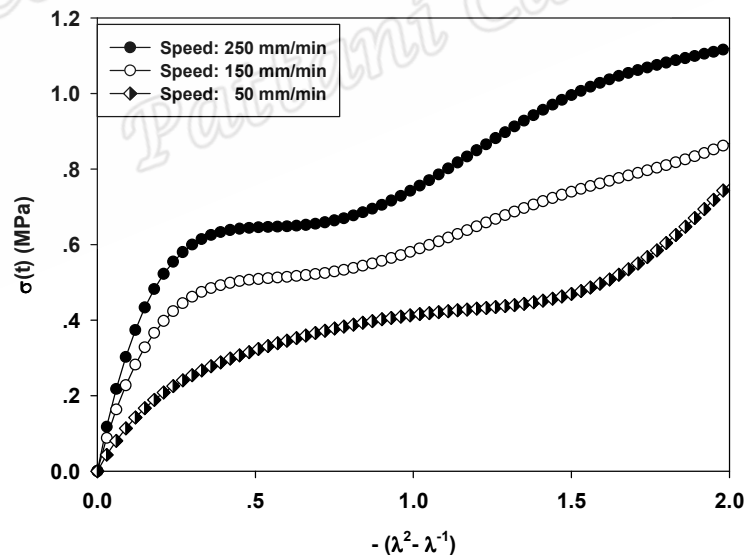
รูปที่ 80 มอดูลัสการกกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



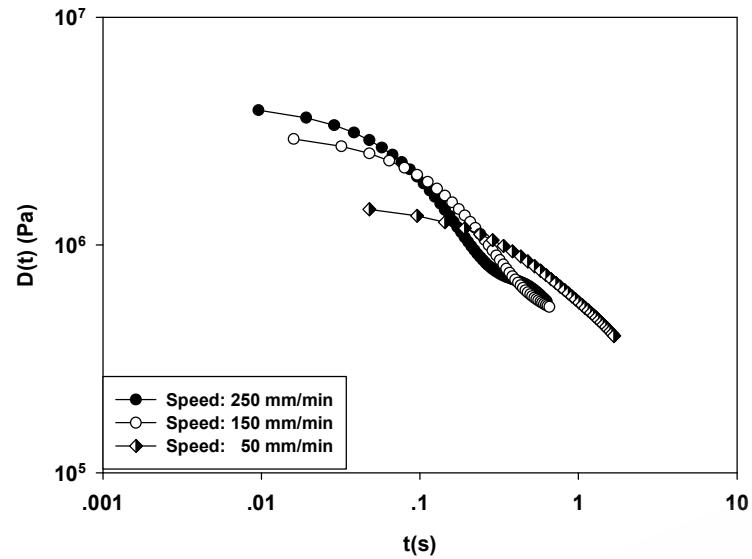
รูปที่ 81 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



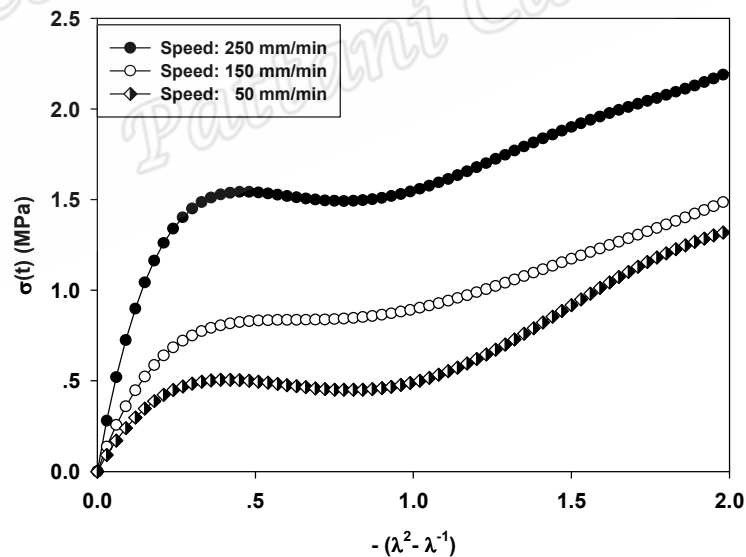
รูปที่ 82 มอดูลัสการกกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 83 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

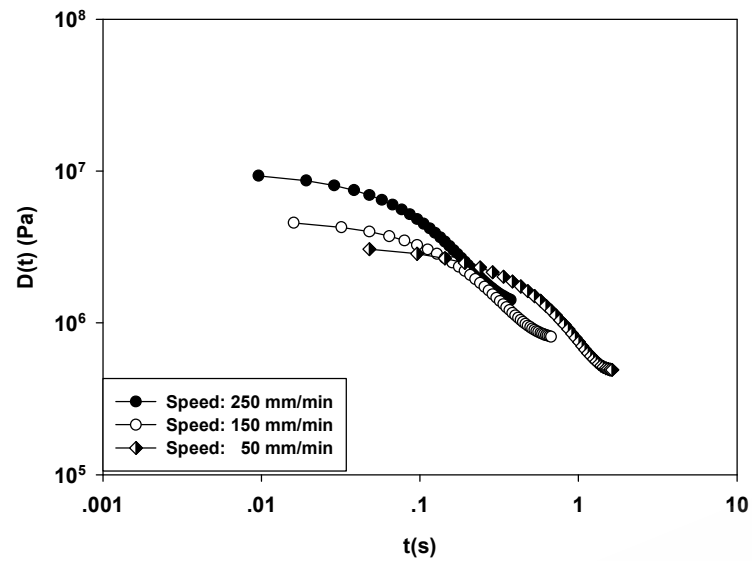


รูปที่ 84 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

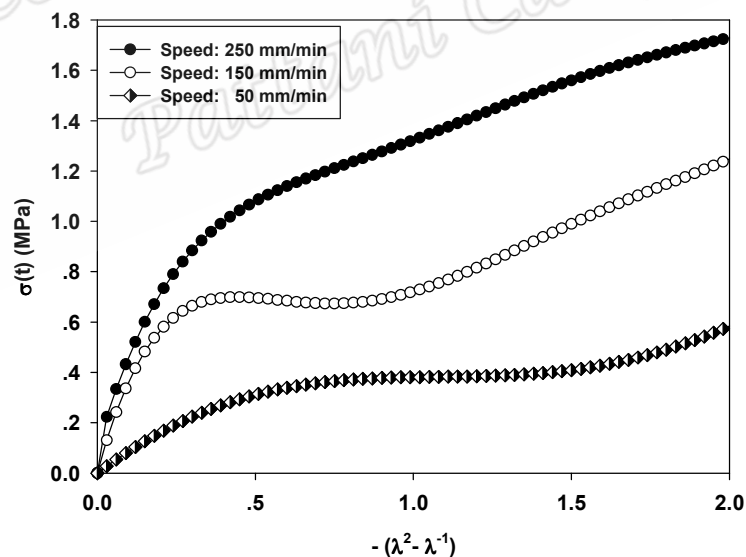


รูปที่ 85 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

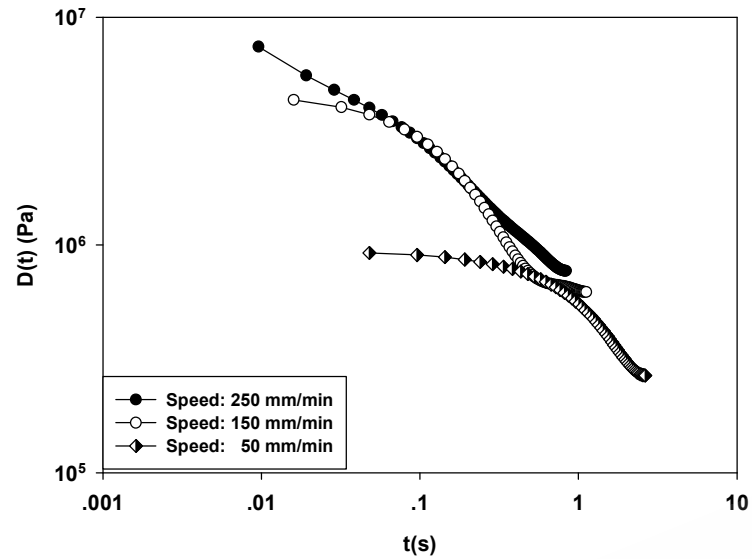




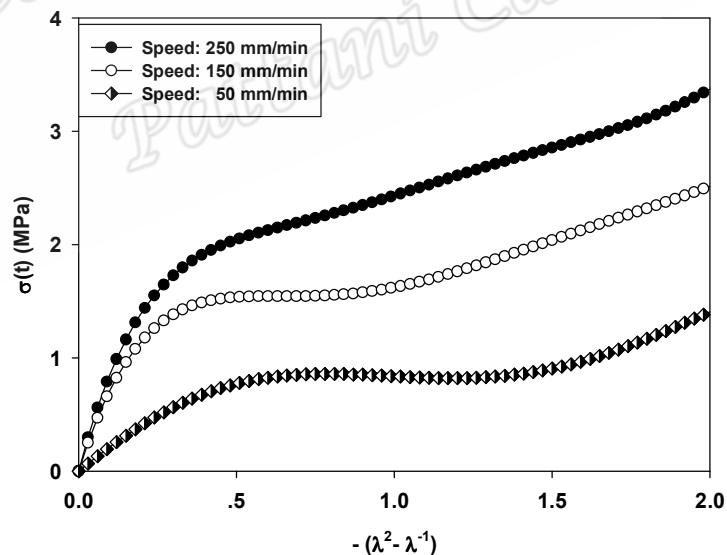
รูปที่ 86 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร



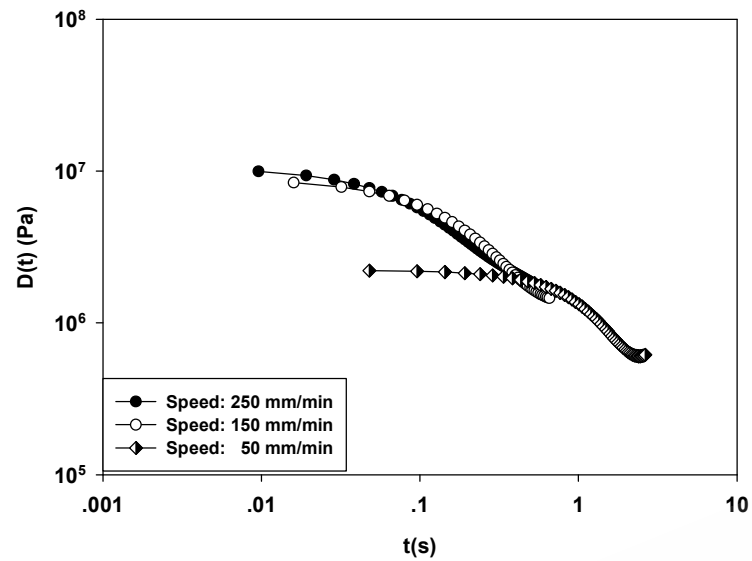
รูปที่ 87 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



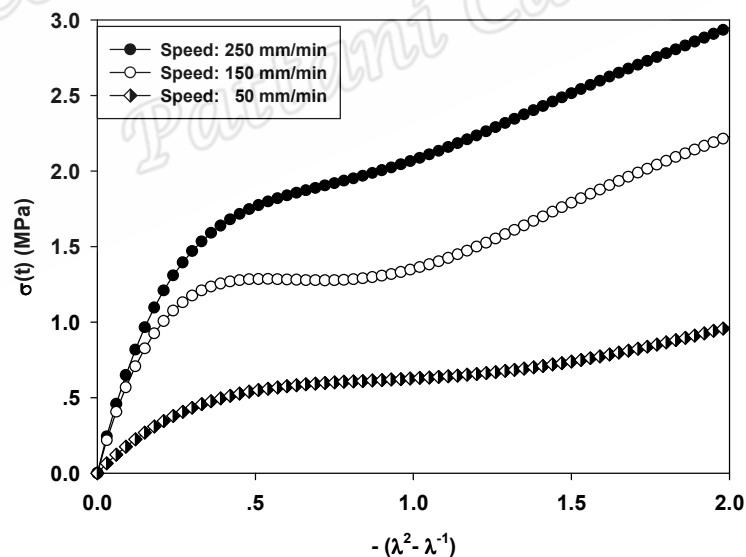
รูปที่ 88 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



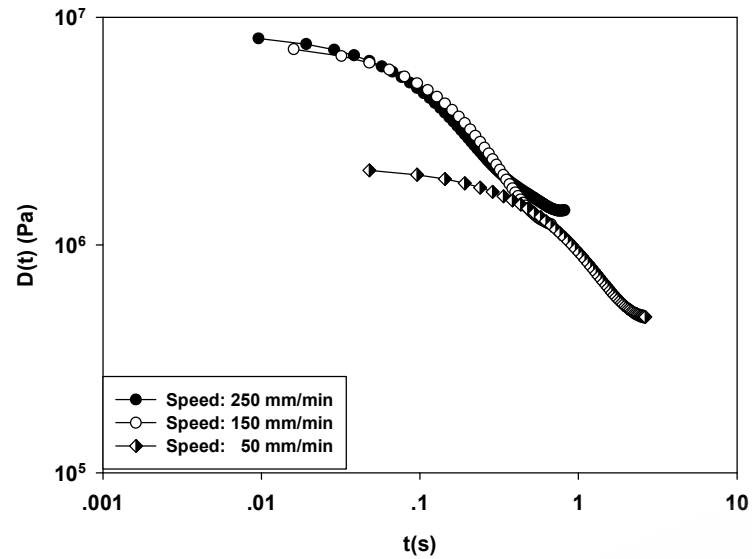
รูปที่ 89 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



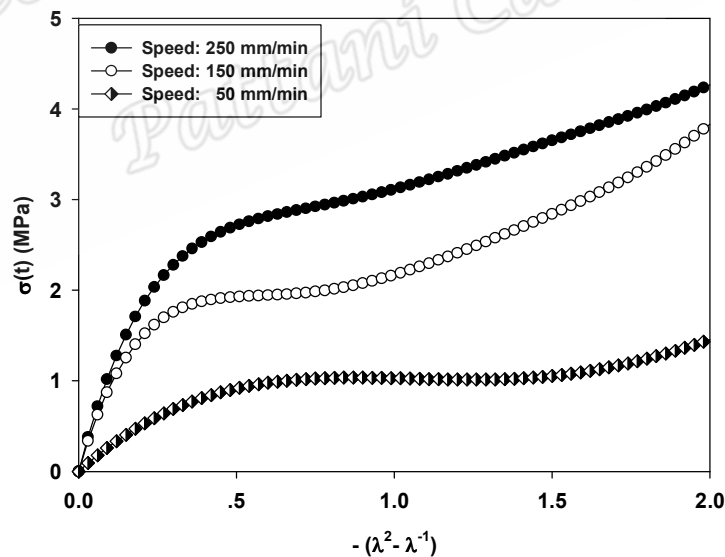
รูปที่ 90 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



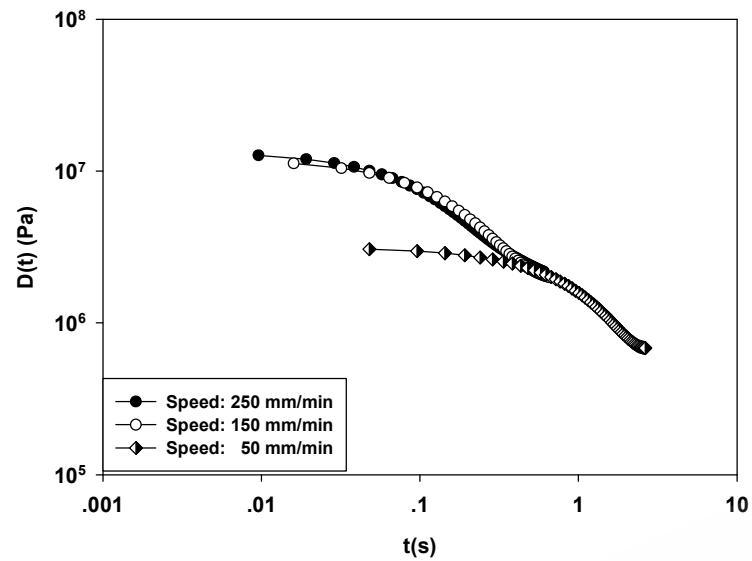
รูปที่ 91 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



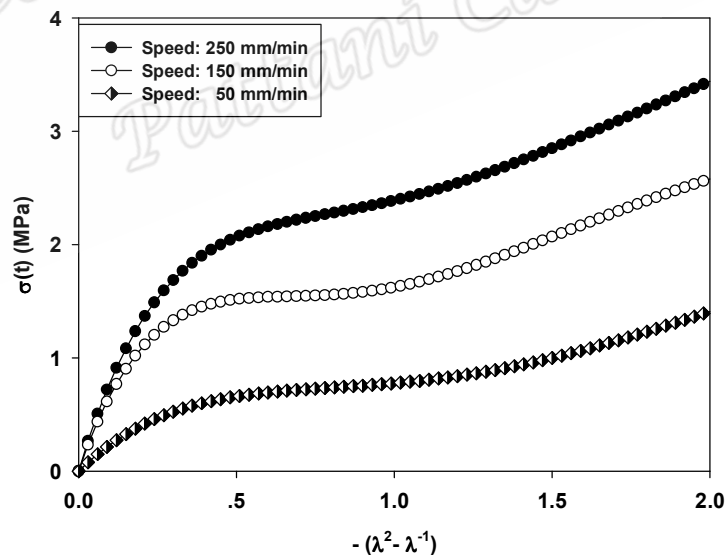
รูปที่ 92 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



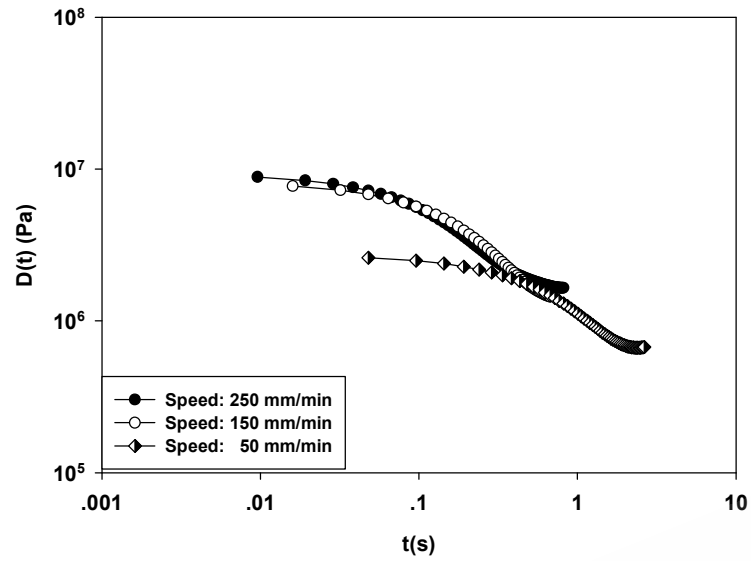
รูปที่ 93 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



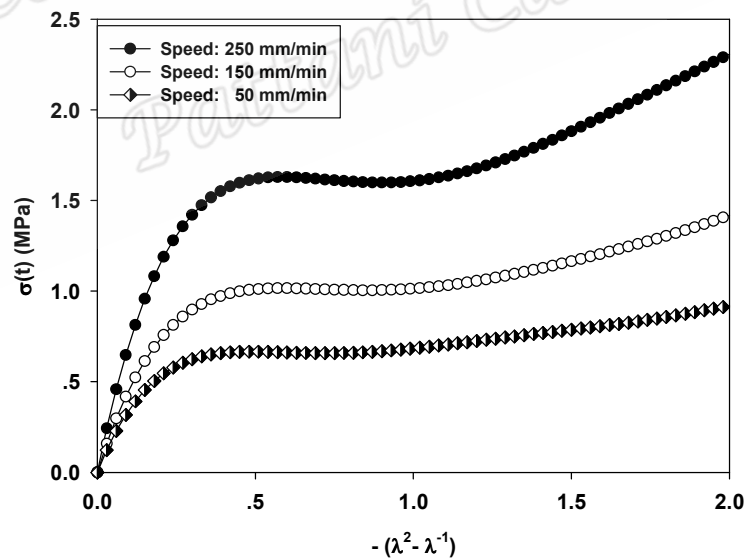
รูปที่ 94 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



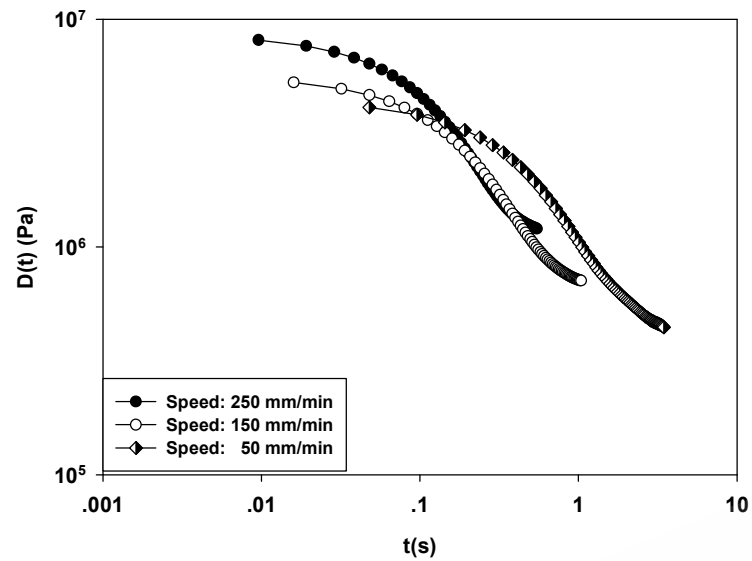
รูปที่ 95 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



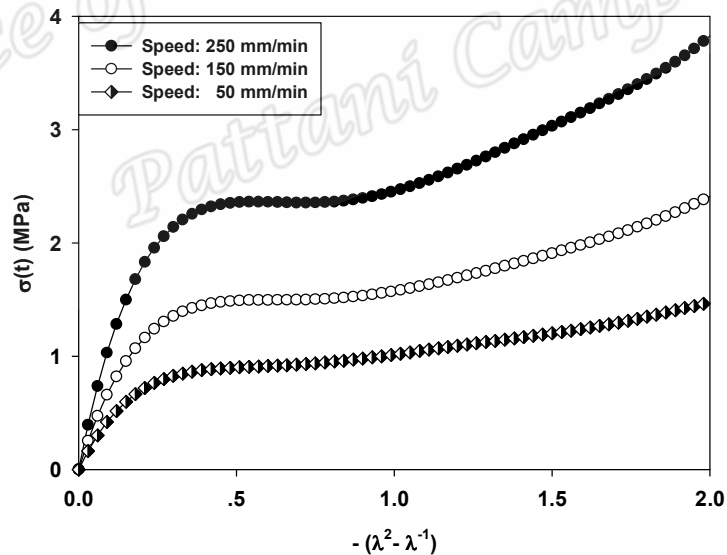
รูปที่ 96 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร



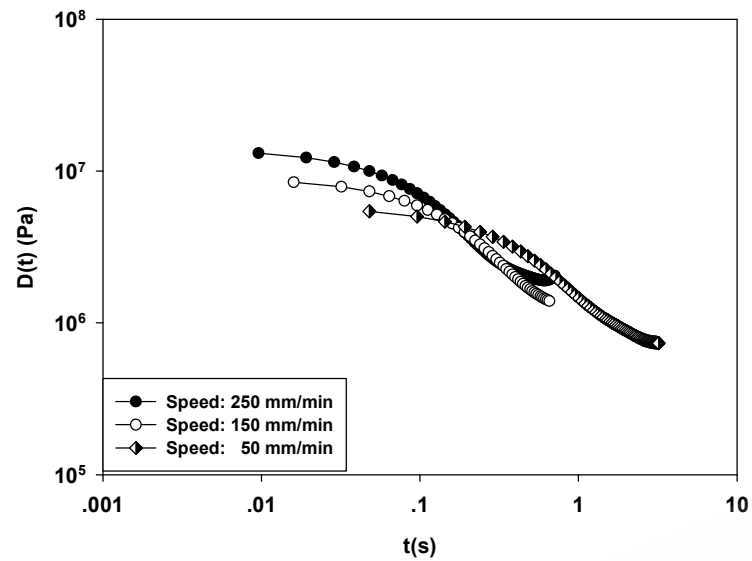
รูปที่ 97 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



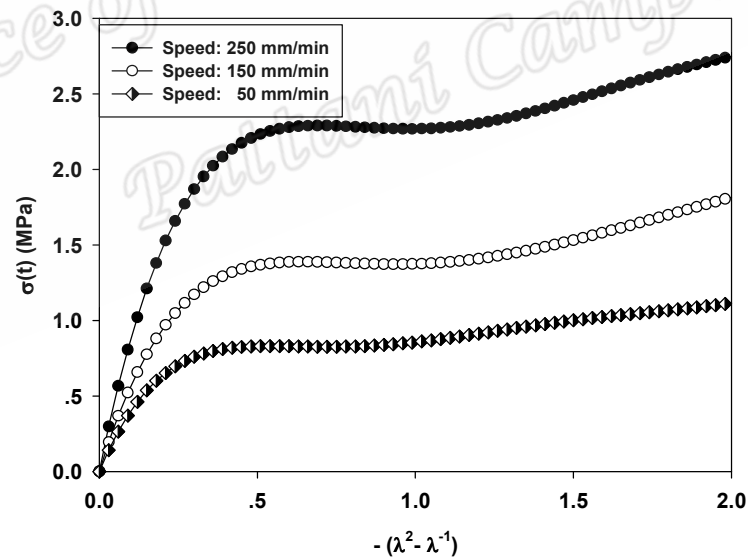
รูปที่ 98 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 99 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกอด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

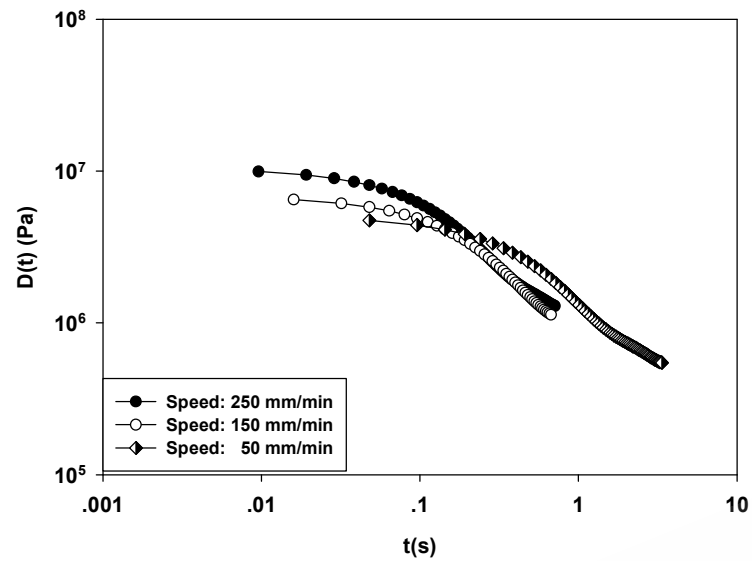


รูปที่ 100 มอดูลัสการกวด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกวด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกวด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที่ และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

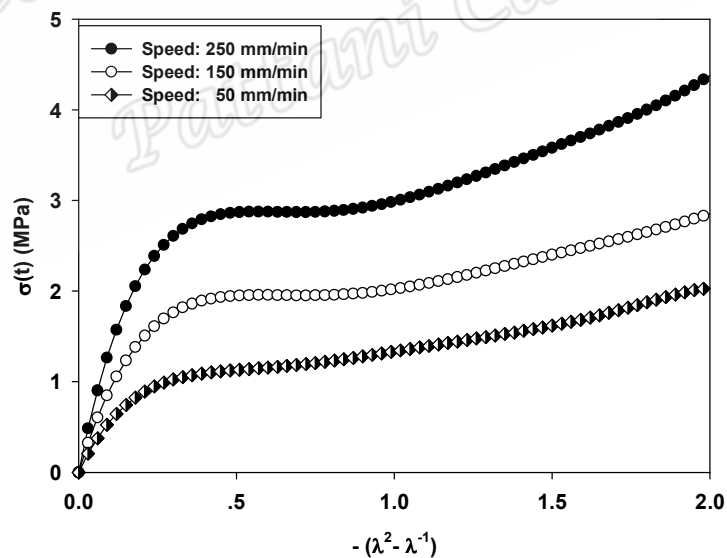


รูปที่ 101 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกวด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที่ และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

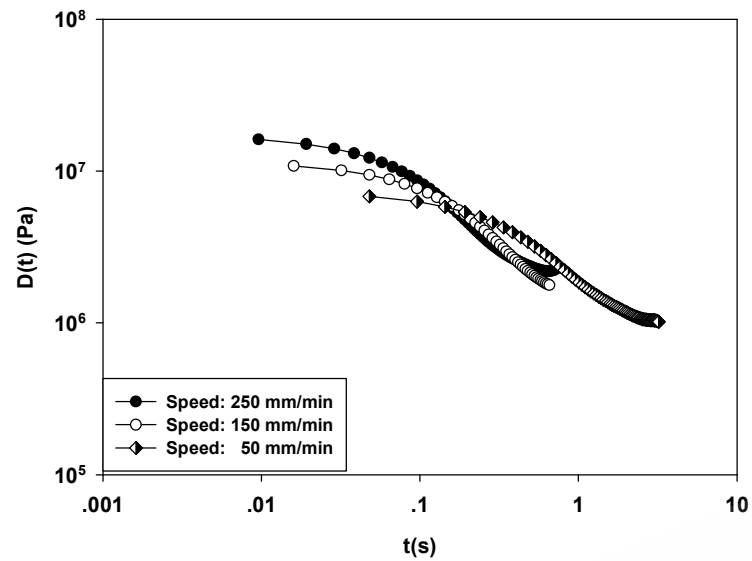




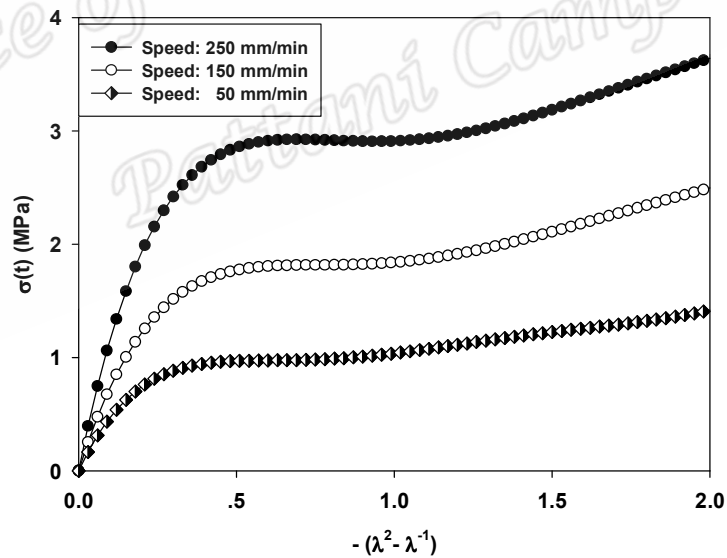
รูปที่ 102 มอดุลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



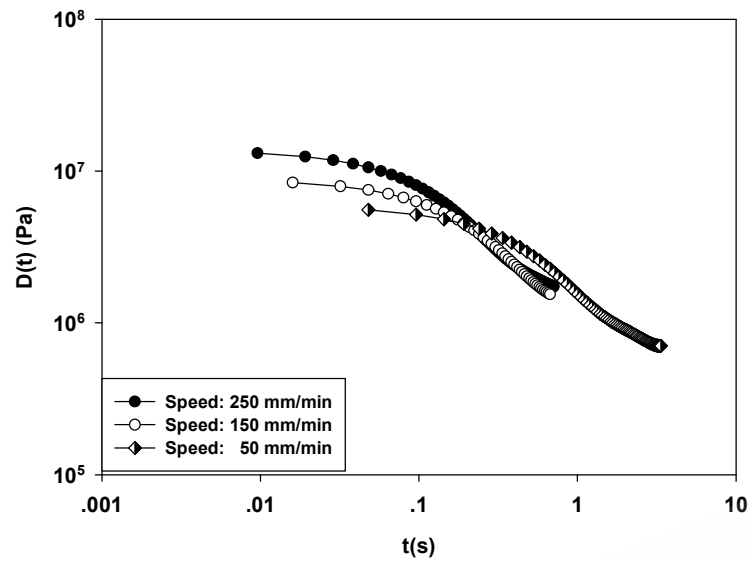
รูปที่ 103 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 104 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 105 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร



รูปที่ 106 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ตาราง 17 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

ความเร็วการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 มม. - 19.00 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยางธรรมชาติ : 0 %	ยางธรรมชาติ : 5 %	ยางธรรมชาติ : 8 %	ยางธรรมชาติ : 0 %	ยางธรรมชาติ : 5 %	ยางธรรมชาติ : 8 %
50	0.0611	0.1168	0.1668	0.0611	0.2595	0.3475
150	0.1731	0.2782	0.3275	0.1731	0.4226	0.5224
250	0.2187	0.3434	0.4330	0.2187	0.6764	1.0425

ตาราง 18 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร

ความเร็ว การกด (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.50 มม. - 19.00 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %
50	0.1555	0.3314	0.4691	0.1555	0.5820	0.9173
150	0.3150	0.6052	0.7393	0.3150	0.9733	1.1721
250	0.5579	0.8363	0.9950	0.5579	1.5281	1.9002

ตาราง 19 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร

ความเร็ว การกด (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 มม. - 12.50 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %
50	0.1265	0.3137	0.4052	0.1265	0.2681	0.3269
150	0.4822	0.9614	1.2559	0.4822	0.8246	0.9031
250	0.6000	1.1613	1.5077	0.6000	0.9652	1.0823

ตาราง 20 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร

ความเร็ว การกด (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.50 มม. - 12.50 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %
50	0.4092	0.9049	1.0547	0.4092	0.7385	0.9990
150	0.9893	2.0394	2.8409	0.9893	1.7890	2.0684
250	1.5601	2.8554	3.6512	1.5601	2.5142	2.8492

ตาราง 21 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วในการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ความเร็ว การกด (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มม. - 9.50 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %
50	0.4537	0.5975	0.7440	0.4537	0.5360	0.6260
150	0.6138	0.9555	1.2343	0.6138	0.7754	1.0036
250	0.9572	1.4975	1.8337	0.9572	1.2105	1.5846

ตาราง 22 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของความเร็วการกด 50, 150 และ 250 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที และ 30 นาที และขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร

ความเร็ว การกด (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มม. - 9.50 มิลลิเมตร					
	บด 0 นาที			บด 30 นาที		
	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %	ยาง ธรรมชาติ : 0 %	ยาง ธรรมชาติ : 5 %	ยาง ธรรมชาติ : 8 %
50	0.7873	1.2018	1.6185	0.7873	1.0007	1.2242
150	1.1648	1.9084	2.4005	1.1648	1.5308	2.1089
250	1.8820	3.0315	3.5805	1.8820	2.4576	3.1875

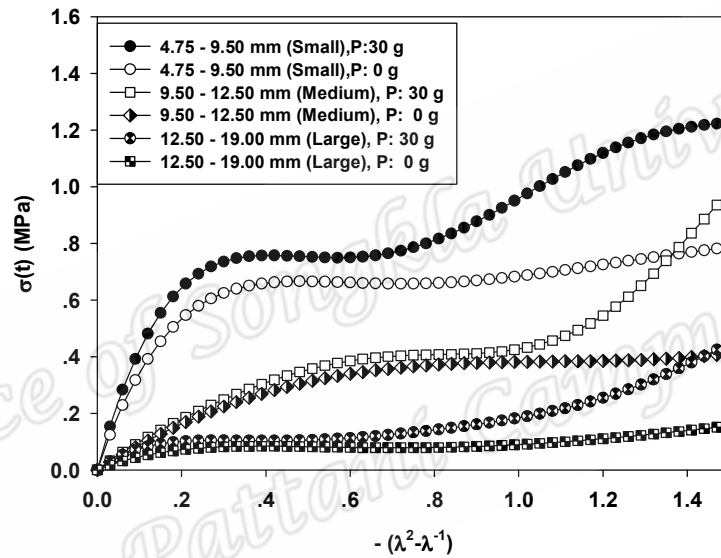
ภาคผนวก ข

การศึกษาการให้น้ำหนักก่อนการกด (Preload) ในการทดสอบสมบัติการกด

Prince of Songkla University  
Pattani Campus

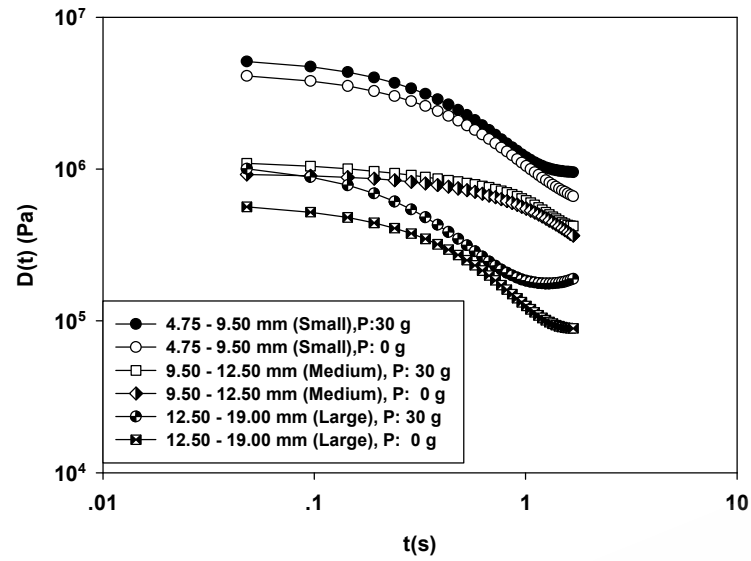
### การศึกษาการให้น้ำหนักก่อนการกด (Preload) ในการทดสอบสมบัติการกด

สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม โดยให้น้ำหนักก่อนการกด (Preload, P) 0, 30 กรัม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส บนชั้นทดสอบภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 150, 250 มิลลิเมตรต่อนาที

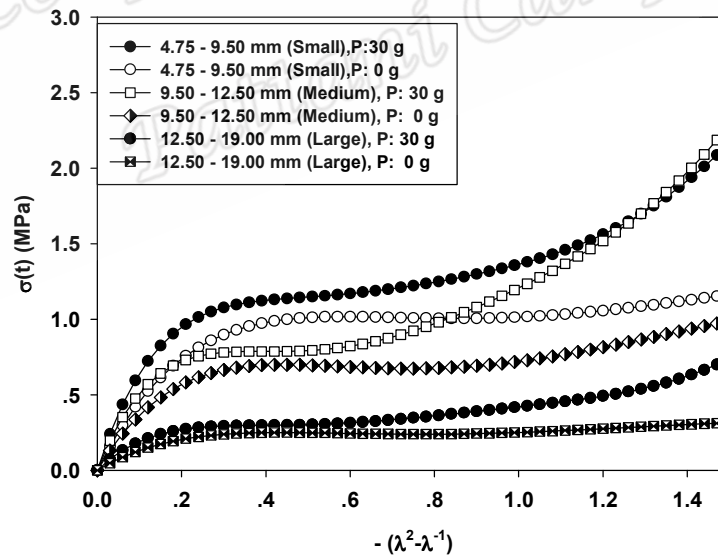


รูปที่ 107 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม

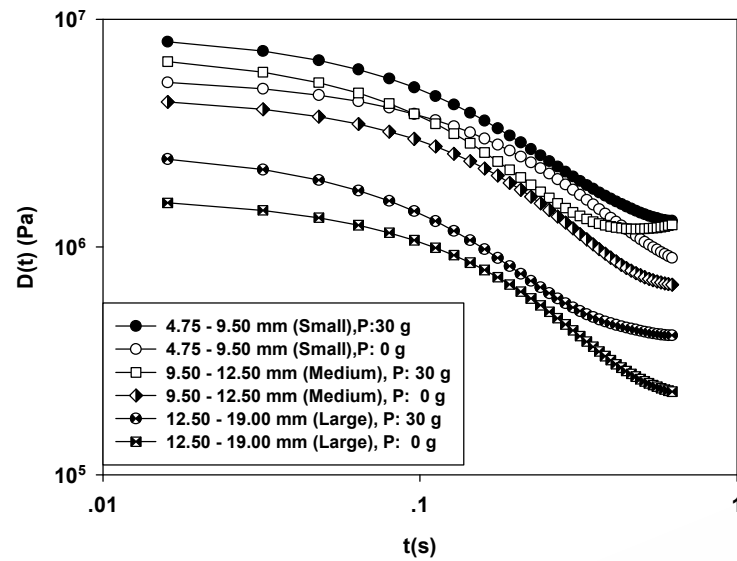




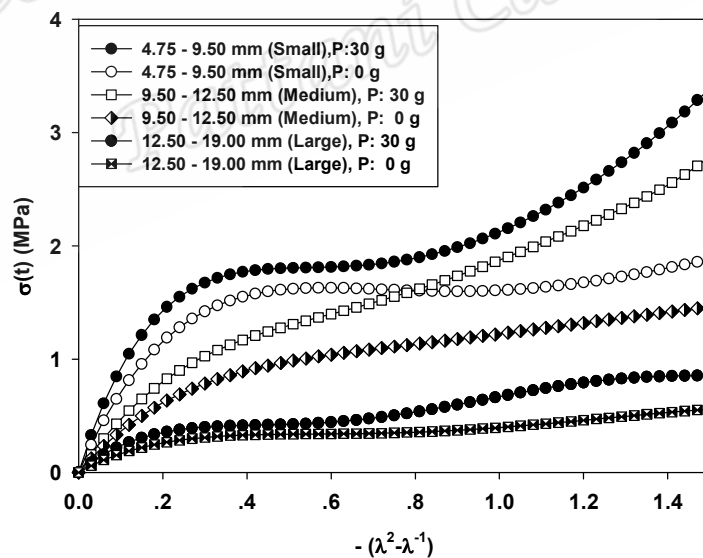
รูปที่ 108 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้ น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม



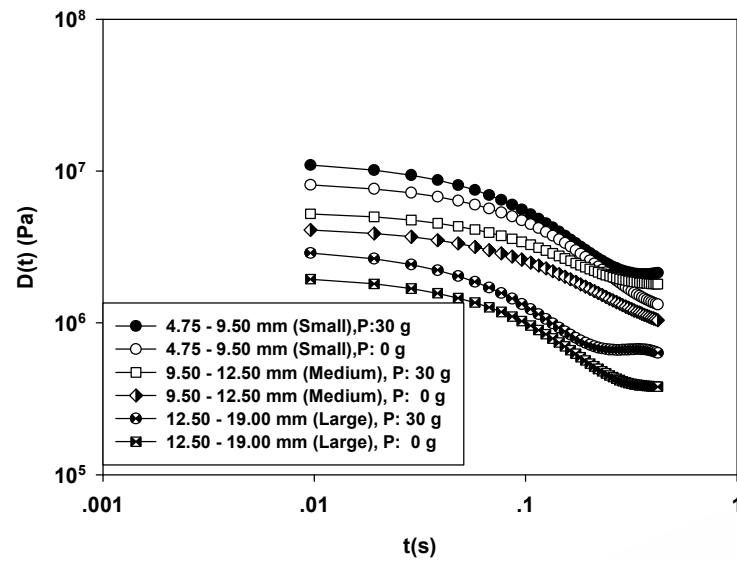
รูปที่ 109 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 150 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม



รูปที่ 110 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 150 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกอด 0, 30 กรัม



รูปที่ 111 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกอด 0, 30 กรัม



รูปที่ 112 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วในการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้ น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม

ตาราง 23 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 150, 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม

ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับ การเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 ปริมาณยางธรรมชาติ 0 %					
	50 มิลลิเมตรต่อนาที		150 มิลลิเมตรต่อนาที		250 มิลลิเมตรต่อนาที	
	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก
	ก่อนการกด : 0 กรัม	ก่อนการกด : 30 กรัม	ก่อนการกด : 0 กรัม	ก่อนการกด : 30 กรัม	ก่อนการกด : 0 กรัม	ก่อนการกด : 30 กรัม
4.75 - 9.50	0.4537	0.5540	0.6138	0.8238	0.9572	1.2122
9.50 - 12.50	0.1264	0.1407	0.4822	0.6407	0.5000	0.6488
12.50 - 19.00	0.0611	0.0917	0.1731	0.2390	0.2187	0.3050

ตาราง 24 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ความเร็วการกด 50, 150, 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้น้ำหนักก่อนการกด 0, 30 กรัม

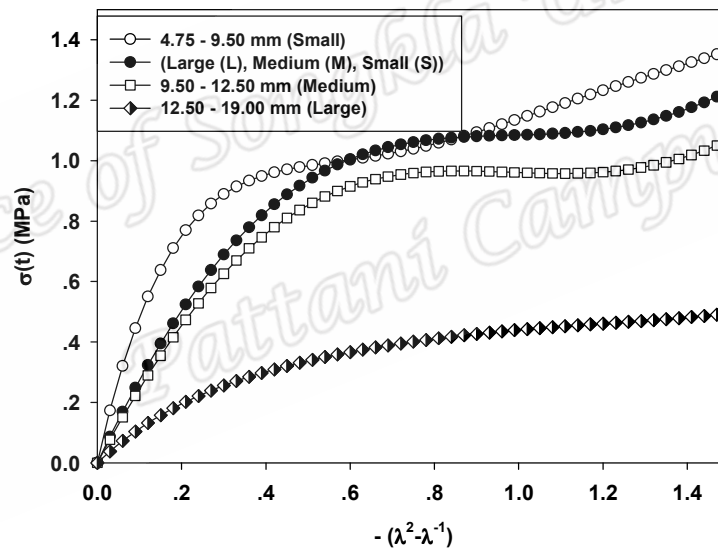
ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 ปริมาณยางธรรมชาติ 0 %					
	50 มิลลิเมตรต่อนาที		150 มิลลิเมตรต่อนาที		250 มิลลิเมตรต่อนาที	
	น้ำหนัก ก่อนการกด : 0 กรัม	น้ำหนัก ก่อนการกด : 30 กรัม	น้ำหนัก ก่อนการกด : 0 กรัม	น้ำหนัก ก่อนการกด : 30 กรัม	น้ำหนัก ก่อนการกด : 0 กรัม	น้ำหนัก ก่อนการกด : 30 กรัม
4.75 -9.50	0.7873	1.2276	1.1648	2.1634	1.8820	3.3929
9.50 -12.50	0.4103	0.9834	0.9893	2.2874	1.4601	2.7913
12.50 -19.00	0.1557	0.4467	0.3150	0.7396	0.5579	0.8549

ภาคผนวก ค

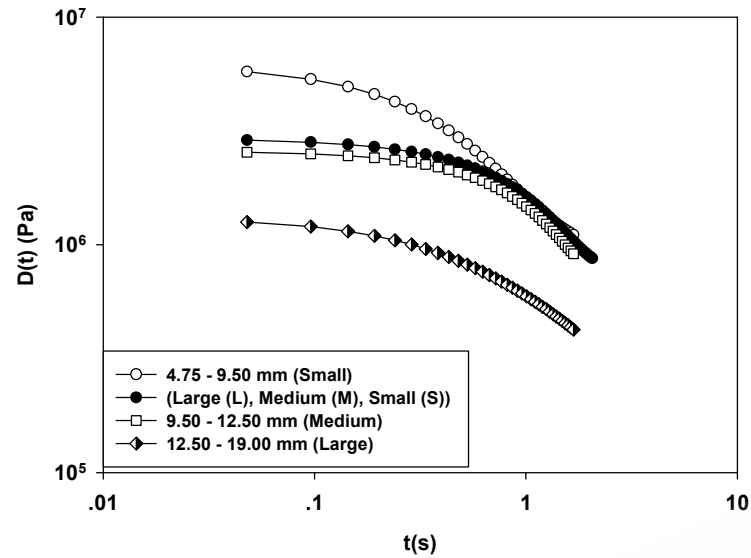
การศึกษาการเตรียมชั้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น  
(Large Medium Small (LMS))

การศึกษาการเตรียมชั้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

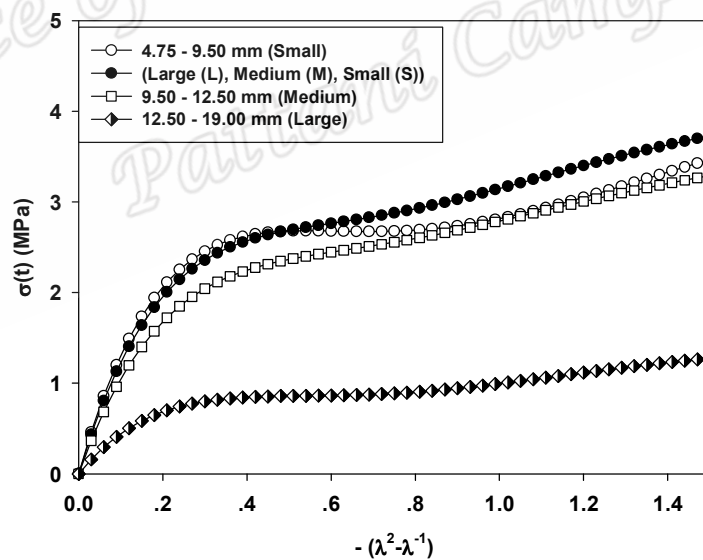
สมบัติการกดของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม โดยการเตรียมชั้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) ใช้เป้ารูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร. และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS)) ใช้เป้ารูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร. ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30) ที่ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที



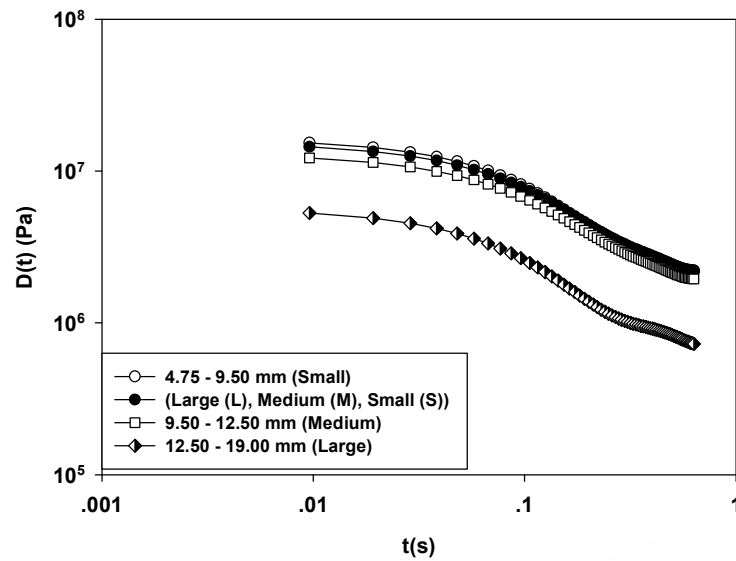
รูปที่ 113 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชั้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))



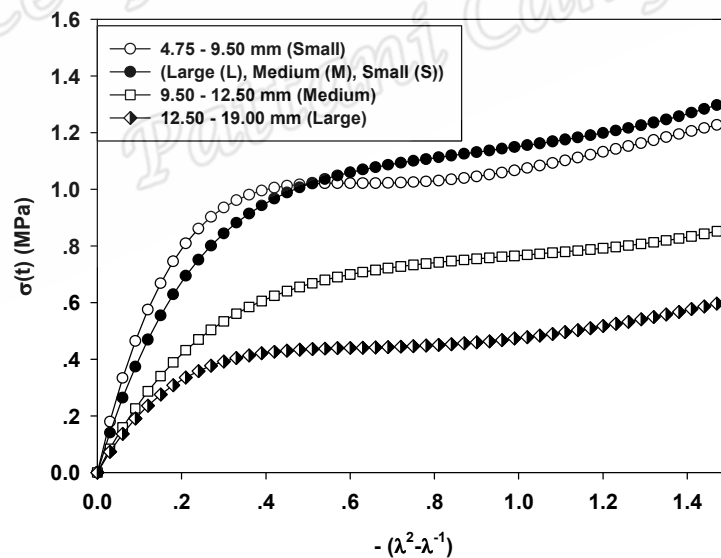
รูปที่ 114 มอดุลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวม เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่ออนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))



รูปที่ 115 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวมเส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่ออนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

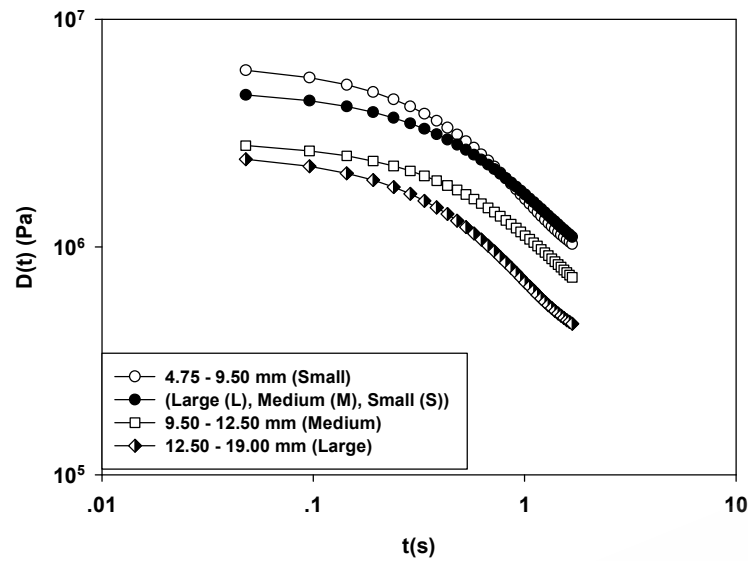


รูปที่ 116 มอดุลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

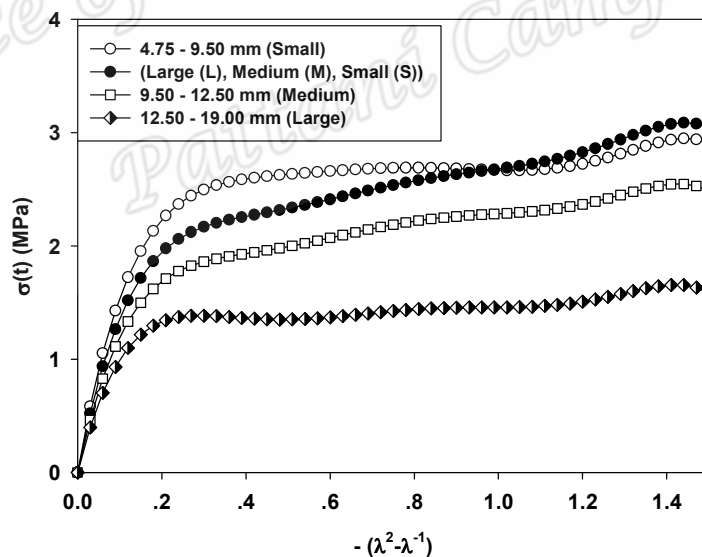


รูปที่ 117 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โกลี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

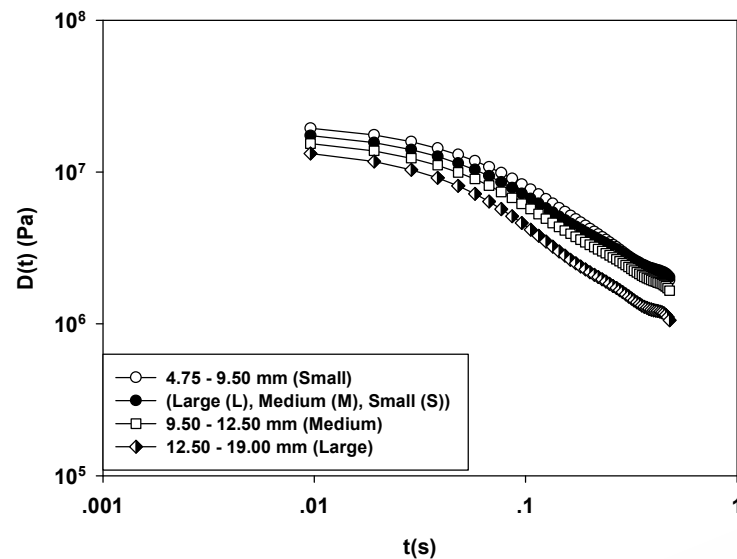




รูปที่ 118 มอดูลัสการกอด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกอด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวม เส้นผ่านศูนย์กลางกลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกอด 50 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))



รูปที่ 119 ความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซี ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกอด 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))



รูปที่ 120 มอดูลัสการกด ( $D(t)$ ) กับ เวลาที่ใช้ในการกด ( $t$ ) ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวม เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ ปริมาณยางธรรมชาติ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

ตาราง 25 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของ โโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุรวมรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุรวมรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

ช่วงขนาดวัสดุ รวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับ การเปลี่ยนรูปของ โโกซีที่ 0.15 บด 0 นาที			
	50 มิลลิเมตรต่อนาที		250 มิลลิเมตรต่อนาที	
	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ
	0 %	5 %	0 %	5 %
4.75 - 9.50	0.6378	0.6675	1.7370	1.9542
LMS	0.3942	0.5540	1.6403	1.7158
9.50 - 12.50	0.3539	0.3402	1.4008	1.4970
12.50 - 19.00	0.1570	0.2749	0.5829	1.2157

ตาราง 26 แสดงค่าความเค้นกับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตรและ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ที่ปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก น้ำหนักโมเลกุลยางธรรมชาติที่ผ่านการบด 0 นาที ที่ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที โดยการเตรียมชิ้นทดสอบแบบ 1 ชั้น (Large (L), Medium (M), Small (S)) และแบบ 3 ชั้น (Large Medium Small (LMS))

ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ความเค้น (MPa) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 บด 0 นาที			
	50 มิลลิเมตรต่อนาที		250 มิลลิเมตรต่อนาที	
	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ	ยางธรรมชาติ
	0 %	5 %	0 %	5 %
4.75 -9.50	1.3653	1.2384	3.4690	2.9061
LMS	1.2318	1.3126	3.7303	3.0421
9.50 -12.50.	1.0683	0.8614	3.2928	2.4841
12.50 -19.00.	0.4948	0.6069	1.2738	1.5820

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ

ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ

ตาราง 27 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบด เป็นเวลา 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อ นาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บดเป็นเวลา 0 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	63.9850	24.5188	31.6949
	9.50 -12.50	220.5696	29.1679	148.1804
	12.50 -19.00	172.9951	42.8082	91.1620
250	4.75 -9.50	91.5691	22.4507	56.4458
	9.50 -12.50	201.5400	29.8286	132.2600
	12.50 -19.00	97.9881	26.0920	57.0187

ตาราง 28 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 0 นาที (1,412,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 75.30)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 บดเป็นเวลา 0 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	105.5760	34.6729	52.6482
	9.50 -12.50	157.0558	16.5543	120.5459
	12.50 -19.00	201.2845	41.5510	112.8452
250	4.75 -9.50	90.2497	18.1059	61.0839
	9.50 -12.50	150.0822	27.8700	95.5753
	12.50 -19.00	78.3473	18.9764	49.9014

ตาราง 29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุผสมรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บดเป็นเวลา 10 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	88.7150	27.4107	48.1154
	9.50 -12.50	250.3956	43.3797	144.3829
	12.50 -19.00	594.2717	44.5807	380.1964
250	4.75 -9.50	97.9941	29.6661	52.6953
	9.50 -12.50	188.3400	47.5186	95.4600
	12.50 -19.00	317.2840	78.4164	133.8820

ตาราง 30 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกชีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 10 นาที (616,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 56.50)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกชีที่ 1.5 บดเป็นเวลา 10 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	110.0343	29.5011	62.1872
	9.50 -12.50	201.5842	34.2519	124.6405
	12.50 -19.00	491.5864	42.1670	316.1207
250	4.75 -9.50	102.2157	33.9186	50.9989
	9.50 -12.50	133.3493	36.4288	71.0411
	12.50 -19.00	356.3004	78.1330	156.1570



ตาราง 31 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 (ช่วงพฤติกรรมแบบเชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบดเป็นเวลา 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 0.15 บดเป็นเวลา 30 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	37.9766	16.7910	18.1397
	9.50 -12.50	158.6234	21.9321	112.1044
	12.50 -19.00	468.7398	33.9113	324.7136
250	4.75 -9.50	65.5453	30.9045	26.4626
	9.50 -12.50	116.4600	12.1322	93.0400
	12.50 -19.00	376.6804	54.1247	209.2821

ตาราง 32 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง ( $\% \Delta \sigma$ ) กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 (ช่วงพฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น) ของยางธรรมชาติผสมยางมะตอยและวัสดุมวลรวม ภายใต้อิทธิพลของปริมาณยางธรรมชาติ 0, 5, 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ขนาดวัสดุมวลรวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 - 9.50 มิลลิเมตร, 9.50 - 12.50 มิลลิเมตร และ 12.50 - 19.00 มิลลิเมตร ความเร็วการกด 50, 250 มิลลิเมตรต่อนาที ลดน้ำหนักโมเลกุลด้วยกระบวนการบด (Masticate) เป็นเวลา 30 นาที (418,000 กรัมต่อโมล, ค่า Mooney viscosity เท่ากับ 44.11)

ความเร็วในการกด (มิลลิเมตรต่อนาที)	ช่วงขนาดวัสดุ มวลรวม (มิลลิเมตร)	ค่าเปอร์เซ็นต์ความเค้นต่าง $\% \Delta \sigma$ กับการเปลี่ยนรูปของโกซีที่ 1.5 บดเป็นเวลา 30 นาที		
		$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:5\%wt-R:8\%wt}$	$\% \Delta \sigma_{R:0\%wt-R:5\%wt}$
50	4.75 -9.50	55.4934	11.2909	39.7180
	9.50 -12.50	143.4804	35.2742	79.9902
	12.50 -19.00	489.1458	57.6116	273.7958
250	4.75 -9.50	69.2720	29.6264	30.5844
	9.50 -12.50	95.1506	13.3243	72.2054
	12.50 -19.00	240.5987	24.3505	173.9021

ภาคผนวก จ

รายงานการเสนองานวิจัยการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเยาวชน ครั้งที่ 6  
ภาคบรรยาย วันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2554 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา

# Compression Properties of Natural Rubber - Asphalt - Aggregate blends

**Furkorn Chelae<sup>1</sup>, Sombat Puttajukr<sup>1,\*</sup> and Thoranit Navarat<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Division of Physics, Department of Physics, Faculty of Science and Technology,  
Prince of Songkla University, Pattani Campus, 94000 Thailand.*

\*Correspondence author: e-mail psombat@bunga.pn.psu.ac.th

**Abstract** The purpose of this research is to investigate effects of aggregate size and the speed of the compression on the compression properties of natural rubber - asphalt - aggregate blends. This polymer blends were stirred with the machine mixer at 320 rpm and temperature 110° C for 2 hours. From the graph of Stress – Cauchy's deformation and compression modulus - time for different aggregate sizes it was found that the stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5 increased when aggregate size decreased. For the relationship of compression modulus and time, it also increased by smaller aggregates. The stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5 the effects of the speed of the compression tended to increase when the speed of the compression increased. In addition, the relationship of compression modulus and time, the compression modulus increased by the speed of compression.

**Key words** asphalt, Cauchy's deformation, compression properties, natural rubber

## **Introduction**

In consideration of increased traffic loads and in order to improve pavement performance, rubber modified asphalts have been developed during the last few decades. The added rubber can strongly enhance the binder properties and permit the building of safer roads and the reduction of maintenance costs (Polacco *et al.*, 2005). Asphalt has numerous applications and one of its major uses is as a binder for aggregate materials in the construction of highways and runways (Krishnan *et al.*, 2005). However, this material has poor mechanical properties because it is hard, fatigue cracking and brittle in cold weather (low temperature), soft, rutting and fluid in hot environment (high temperature)



and it has a low elastic recovery. The brittle character of the asphalt makes it easy to fracture when it is subjected to stress. For these reasons asphalt is usually reinforced by rubber to improve its mechanical properties (Estevez, 2009).

The main objective of this work has been to study on the compression properties of natural rubber - asphalt - aggregate blends. The effects of aggregate size and the speed of the compression, Cauchy's equation, compression modulus and true stress were used in order to characterize the linear and non-linear behavior of polymer blends.

## Material and Methods

### Materials

STR 5L Grade Rubber (Chana Rubber Company Limited), Penetration Grade liquid asphalt (AC 60/70) (Pattani Highway District) and aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm, 9.50 - 12.50 mm and 12.50 - 19.00 mm. were used for preparation of samples.

### Sample preparation

The polymer blends were prepared using a high shear mixer. Firstly, asphalt was heated until it became fluid in a small iron container, then upon reaching about 110° C, the rubber (based on 100 parts asphalt) and aggregate were added. The stirring time was 2 hours at the stirring speed of 320 rpm. Finally, the sample was poured into a PVC tube, 2.6 cm in diameter and 5 cm in height.

### Compression property test

The compression properties of polymer blends were tested by the speed of compression at 50, 150 and 250 mm/min (25°C). Cauchy's equation, compression modulus and true stress were used in order to characterize the linear and non-linear behavior of polymer blends, which can be calculated by the following equation:

$$\text{True stress} = \sigma(t) = \frac{F(t)}{A(t)}$$

where  $F(t)$  is the force and  $A(t)$  is the cross-sectional area at time  $t$ .

The compression modulus  $D(t)$  can be determined as follows

$$D(t) = \frac{\sigma(t)}{-(\lambda^2 - \frac{1}{\lambda})}$$

where  $\sigma(t)$  is the true stress at time  $t$  and  $\lambda^2 - \frac{1}{\lambda}$  is Cauchy's deformation.

where  $\lambda$  is the compression ratio,  $\lambda = \frac{h_t}{h_0}$ .

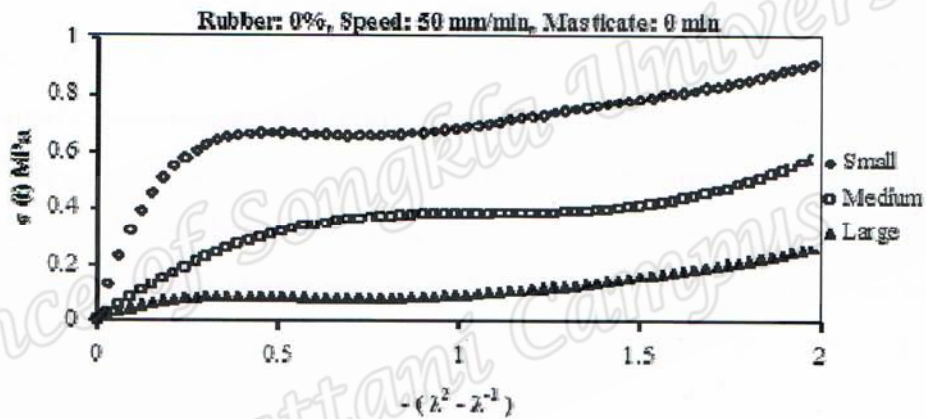
and 
$$h_t = h_0 - vt$$

where  $h_t$  is the height (mm) at time  $t$ ,  $h_0$  is the initial height (mm),  $v$  is the speed of the compression (mm/min) and  $t$  is the time (min) or (sec).

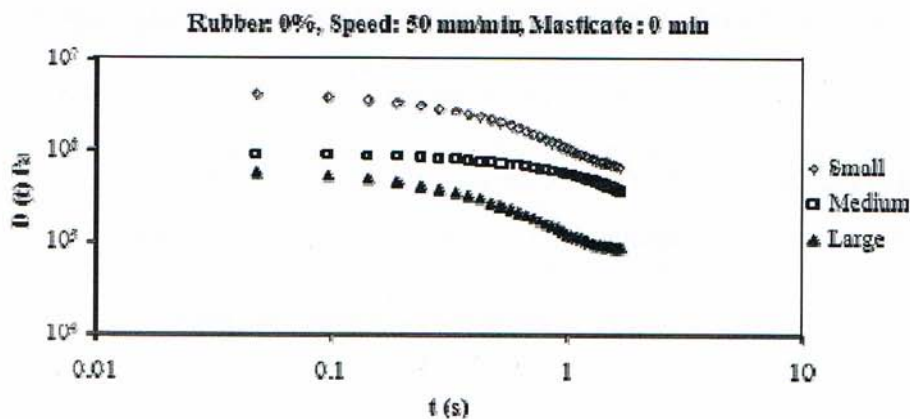
## Results and Discussion

### Effect of aggregate size

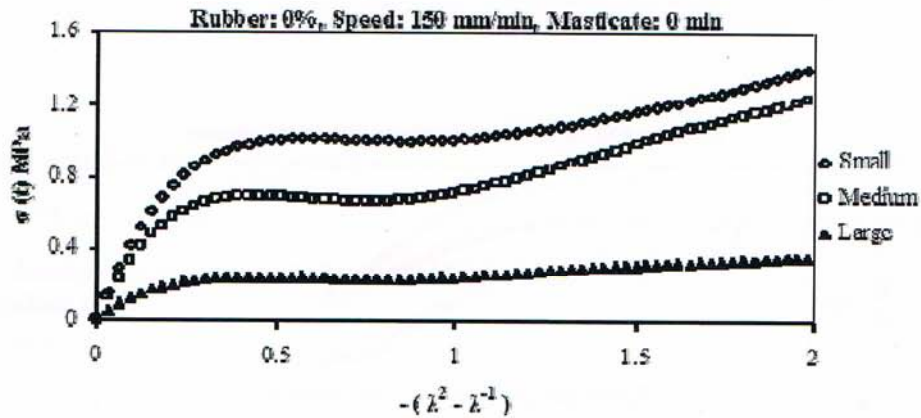
The effects of aggregate size on the compression properties of natural rubber - asphalt - aggregate blends. The results are shown in Figures 1 – 6.



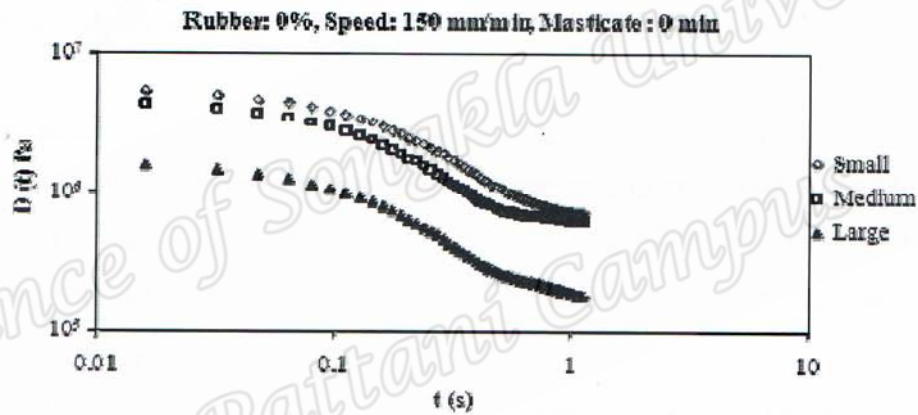
**Figure 1** Stress - Cauchy's deformation, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 50 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).



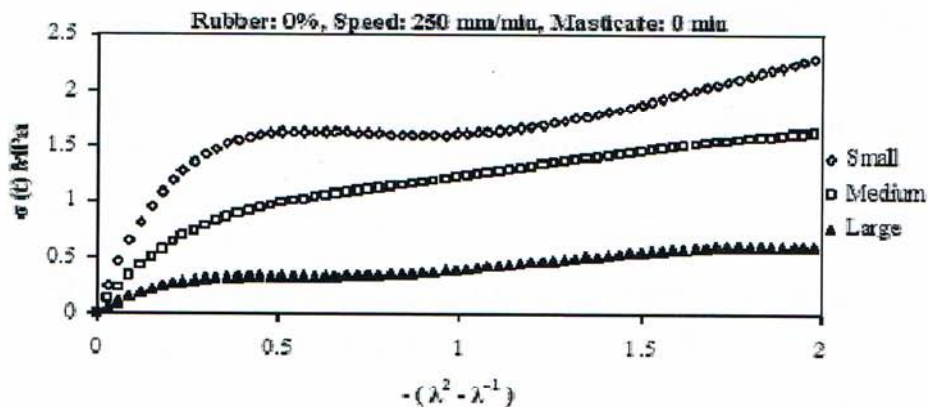
**Figure 2** Compression modulus ( $D(t)$ ) – time, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 50 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).



**Figure 3** Stress - Cauchy's deformation, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 150 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).

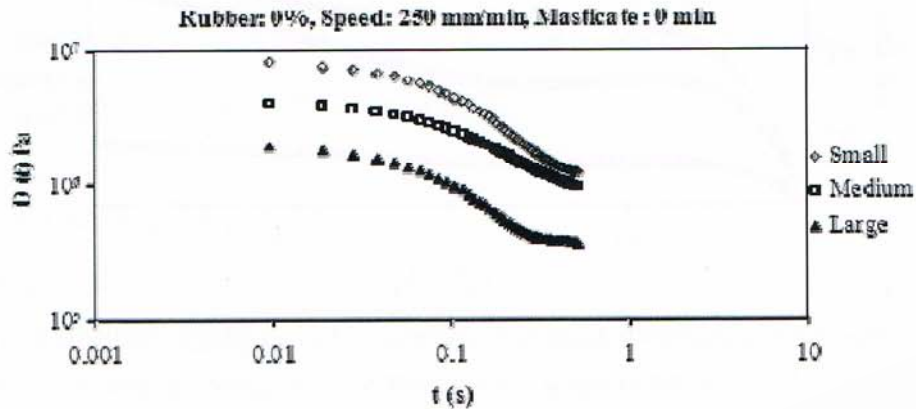


**Figure 4** Compression modulus ( $D(t)$ ) – time, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 150 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).





**Figure 5** Stress - Cauchy's deformation, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 250 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).



**Figure 6** Compression modulus ( $D(t)$ ) - time, aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, the speed of the compression (Speed) at 250 mm/min and the time at 0 min for mastication (Masticate).

**Table 1** The stress (MPa) of natural rubber - asphalt - aggregate blends of Cauchy's deformation at 0.5 under the effects of aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S), 9.50 - 12.50 mm (Medium, M) and 12.50 - 19.00 mm (Large, L), the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 %wt, the speed of the compression (Speed) at 50, 150, 250 mm/min.

Aggregate size	Stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5		
	Speed: 50 mm/min	Speed: 150 mm/min	Speed: 250 mm/min
4.75 - 9.50 mm. Small, S	0.665	1.010	1.618
9.50 - 12.50 mm. Medium, M	0.311	0.695	0.980
12.50 - 19.00 mm. Large, L	0.082	0.248	0.336

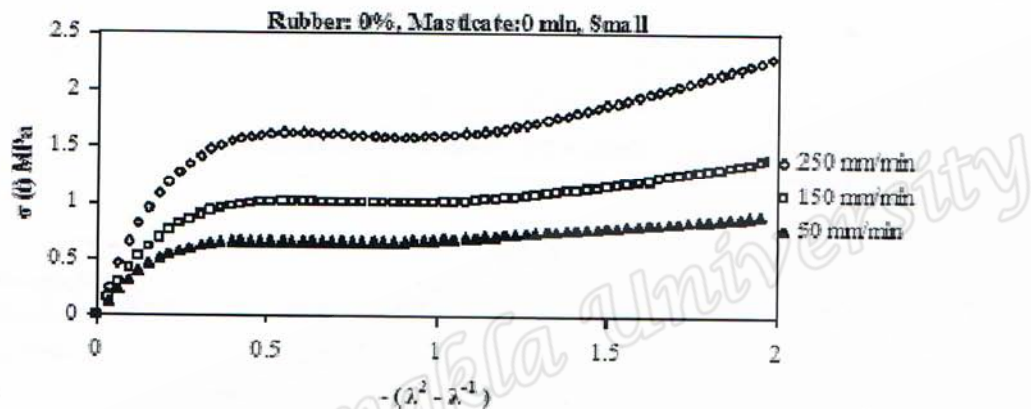
From Table 1, the stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5 (less time in the compression), it was found that the stress increased when aggregate size decreased. In addition, the relationship of compression modulus - time, the compression modulus also



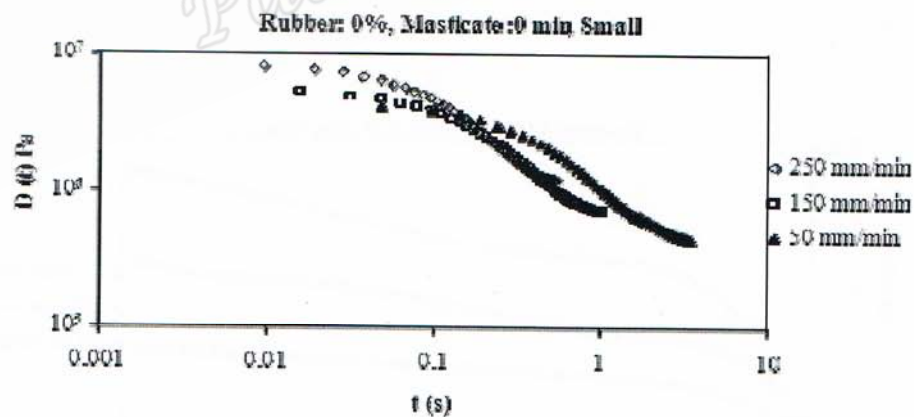
increased by smaller aggregates. Due to aggregate size smaller, the internal friction between the aggregate surface increased (Chiu and Lu, 2007) and the adhesion between the rubber modified asphalt and the aggregate surface increased (Estevez, 2009). As a result, the stress increased.

### Effect of the speed of the compression

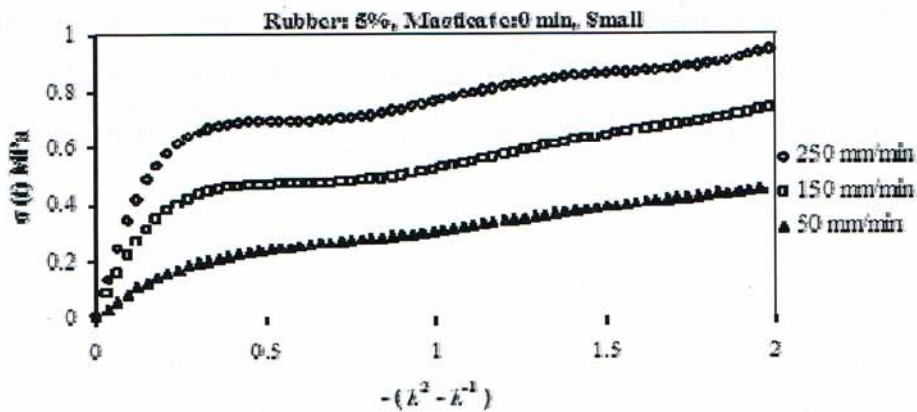
The effects of the speed of the compression on the compression properties of natural rubber - asphalt - aggregate blends. The results are shown in Figures 7 – 12.



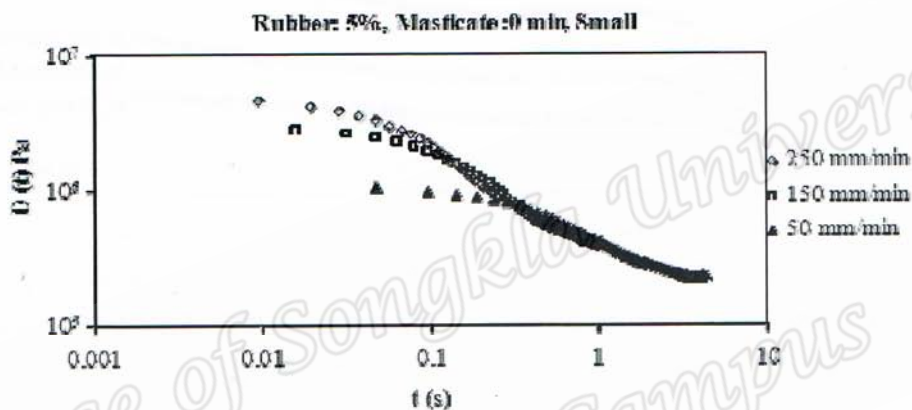
**Figure 7** Stress - Cauchy's deformation, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).



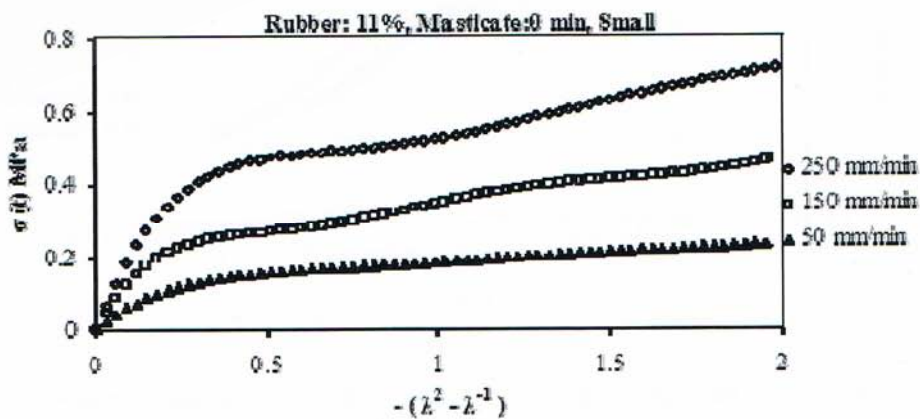
**Figure 8** Compression modulus ( $D(t)$ ) - time, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 0 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).



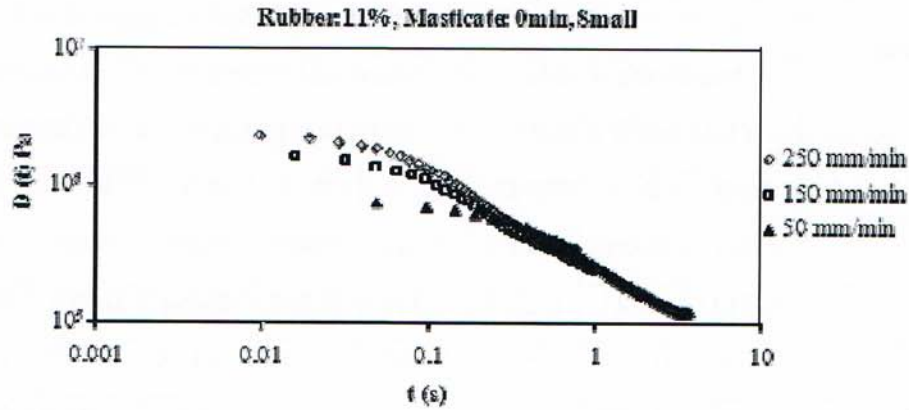
**Figure 9** Stress - Cauchy's deformation, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 5 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).



**Figure 10** Compression modulus (D (t)) - time, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 5 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).



**Figure 11** Stress - Cauchy's deformation, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 11 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).



**Figure 12** Compression modulus ( $D(t)$ ) - time, the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 11 % wt, aggregate size, diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S) and the time at 0 min for mastication (Masticate).

**Table 2** The stress (MPa) of natural rubber - asphalt - aggregate blends of Cauchy's deformation at 0.5 under the effects of the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 0, 5, 11 % wt, the molecular weight of natural rubber on the masticate (Masticate) 0 min (1,412,000 g/mol), 10 min (616,000 g/mol) and 30 min (418,000 g/mol), aggregate diameter of 4.75 - 9.50 mm (Small, S).

The speed of the compression (mm/min)	Stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5								
	Masticate: 0 min (1,412,000 g/mol)			Masticate: 10 min (616,000 g/mol)			Masticate: 30 min (418,000 g/mol)		
	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt
50	0.665	0.238	0.155	0.665	0.318	0.312	0.665	0.182	0.145
150	1.010	0.468	0.269	1.010	0.560	0.389	1.010	0.369	0.251
250	1.618	0.697	0.473	1.618	0.784	0.561	1.618	0.647	0.441

**Table 3** The stress (MPa) of Rubber - asphalt - aggregate blends of Cauchy's deformation at 0.5 under the effects of the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 0, 5, 11 % wt, the molecular weight of natural rubber on the masticate (Masticate) 0 min (1,412,000 g/mol), 10 min (616,000 g/mol) and 30 min (418,000 g/mol), aggregate diameter of 9.50 - 12.50 mm. (Medium, M).



The speed of the compression (mm/min)	Stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5								
	Masticate: 0 min (1,412,000 g/mol)			Masticate: 10 min (616,000 g/mol)			Masticate: 30 min (418,000 g/mol)		
	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt
50	0.311	0.441	0.257	0.311	0.291	0.291	0.311	0.256	0.100
150	0.695	0.838	0.536	0.695	0.499	0.478	0.695	0.586	0.213
250	0.980	0.998	0.611	0.980	0.664	0.685	0.980	0.773	0.298

**Table 4** The stress (MPa) of Rubber - asphalt - aggregate blends of Cauchy's deformation at 0.5 under the effects of the speed of the compression (Speed) at 50, 150 and 250 mm/min, the amount of natural rubber (Rubber, R) 0, 5, 11 % wt, the molecular weight of natural rubber on the masticate (Masticate) 0 min (1,412,000 g/mol), 10 min (616,000 g/mol) and 30 min (418,000 g/mol), aggregate diameter of 12.50 - 19.00 mm.(Large, L).

The speed of the compression (mm/min)	Stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5								
	Masticate: 0 min (1,412,000 g/mol)			Masticate: 10 min (616,000 g/mol)			Masticate: 30 min (418,000 g/mol)		
	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt	R: 0 %wt	R: 5 %wt	R: 11 %wt
50	0.082	0.174	0.050	0.082	0.591	0.261	0.082	0.247	0.063
150	0.248	0.158	0.045	0.248	0.731	0.361	0.248	0.374	0.184
250	0.336	0.203	0.139	0.336	0.919	0.534	0.336	0.609	0.211

From Tables 2, 3 and 4, the stress (MPa) of Cauchy's deformation at 0.5 (less time in the compression), it was found that the stress increased when the speed of the compression increased. In addition, the relationship of compression modulus - time, the compression modulus increased by the speed of compression. When the speed of the compression increases, the chain of the natural rubber did not relaxed (Sombat, 2009). The chain of the asphalt and the aggregate had no time to relax and to move (Sombat, 2009). The residual stress was within the polymer blends (Sombat, 2009). As a result, the stress increased.

Figures 1, 3, 5, 7, 9 and 11 show the deformation behavior of polymer blends. It was found that the linear viscoelastic behavior at the initiation of the compression is due to the relaxation of polymer blends (Sombat, 2004). The linear viscoelastic region describes the resistance of the polymer blends to loading and thus rutting and cracking due to fatigue (Navarro *et al.*, 2002). As the deformation increases, it was found that the non-linear viscoelastic behavior was apparently due to the relaxation and creep of polymer blends and the movement of the aggregate (Sombat, 2009).

## Conclusions

The effects of aggregate size were found to cause the increase of the stress as the aggregate size became smaller. The compression modulus also increased when the aggregate size increased. The effects of the speed of the compression made the stress increased as it was increased. It was also found that the compression modulus increased as the speed of compression increased.

## Acknowledgements

The authors wish to express gratitude to Division of Physics, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University (Pattani) for allowing to carry out the laboratory experiments and Pattani Highway District for providing materials.

## References

- Chiu C-T, Lu L-C. A laboratory study on stone matrix asphalt using ground tire rubber. *Construction and Building Materials* 2007; 21:1027-1033.
- Estevez M. Use of coupling agents to stabilize asphalt-rubber-gravel composite to improve its mechanical properties. *Journal of Cleaner Production* 2009; 17:1359-1362.
- Krishnan MJ, Rajagopal KR. On the mechanical behavior of asphalt. *Mechanics of Materials* 2005; 37:1085-1100.
- Navarro FJ, Partal P, Mart'inez-Boza F, Valencia C, Gallegos C. Rheological characteristics of ground tire rubber-modified bitumens. *Chemical Engineering Journal*, 2002; 89:53-61.



Polacco G, Berlincioni S, Biondi D, Stastna J, Zanzotto L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers. *European Polymer Journal* 2005; 41:2831-2844.

Sombat P. *Physical Rheological and Engineering Properties of the Rubber*. Pattani: Division of Educational Technology Prince of Songkla University, Pattani campus, 2004. (in Thai).

Sombat P. *Advanced Rheology and Applications*. Pattani: Mittraphap, 2009. (in Thai).

Prince of Songkla University  
Pattani Campus