Ishiaku *et al.* (1998) ได้ศึกษาสมบัติของสาร De-Link R โดยแปรปริมาณการใช้ที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 phr พบว่าที่ปริมาณ 6 phr จะทำให้ได้สมบัติที่ดีสุด

3. ระเบียบวิธีการทดลอง

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้มีความต้องการผลิตในเชิงพาณิชย์ วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัยจึงเป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางทั้งหมด วัตถุดิบยางครัมบ์เลือกใช้ในรูปแบบที่มีการจัดจำหน่ายโดยทั่วไป ในขณะที่พลาสติกที่ใช้มีทั้งเตรียมเองจากขวดน้ำพลาสติกใช้แล้ว และพลาสติกรีไซเคิลในโรงงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงการขยายขนาดการผลิตที่ศึกษาทั้งเครื่องผสมแบบปิดและเครื่องเอกทรูดซ์แบบสกรูคู่

3.1 วัสดุ

3.1.1 ยางครัมบ์

ยางครัมบ์ที่ใช้มีขนาดโดยประมาณ 30-40 เมช จัดจำหน่ายโดย บริษัท ส. เสรี รับเบอร์ จำกัด โดยไม่ได้ระบุว่ามีต้นกำเนิดจากยางประเภทใด แต่คาดว่าเป็นยางครัมบ์ที่เกิดจากการขัด (buff) ในกระบวนการหล่อดอกยางรถบรรทุก

3.1.2 ยางธรรมชาติ ชนิดยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS3)

ใช้เป็นองค์ประกอบหนึ่งในการเตรียม TPVs โดยทำหน้าที่เป็นสารที่ช่วยในการยึดเกาะระหว่างเฟส CRM และพลาสติก ผลิตโดยกลุ่มสหกรณ์เกษตรกร ตำบลควนปันแต อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง

3.1.3 ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM)

ยาง EPDM เป็นเกรด 4770 จำหน่ายโดย บริษัท Chemical Innovation

3.1.4 พอลิพอไพลีน

พอลิพอไพลีนเตรียมจากขวดน้ำพลาสติกบดด้วยเครื่องบดมีขนาดประมาณ 0.5 ซม.

3.1.5 พอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนที่ใช้มีอีกด้วยกัน 4 เกรด คือ

1. พอลิเอทิลีนเตรียมจากขวดน้ำพลาสติกบดด้วยเครื่องบดมีขนาดประมาณ 0.5 ซม.
2. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เกรด 5000S มีลักษณะเป็นผงสีขาวขุ่น มีค่าดัชนีการไหล (Melt flow index; MFI) เท่ากับ 0.7 g/10 min (บดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมโรโตโมลเพื่อช่วยให้พลาสติกหลอมง่ายขึ้น)
3. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง เกรด R1760 เป็นเกรดสำหรับใช้ในงานฉีด (Injection molding) ของบริษัท ทีพีไอโพลีน จำกัด (มหาชน) มีชื่อทางการค้าว่าโพลีน (POLENE®) มีค่าดัชนีการไหล เท่ากับ 5.3 g/10 min (บดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมโรโตโมลเพื่อช่วยให้พลาสติกหลอมง่ายขึ้น)
4. พอลิเอทิลีนความหนาแน่นปานกลาง มีลักษณะเป็นผงสีชมพูละเอียด ชื่อทางการค้าคือ แอล-ลีน (EL-Lene) ผลิตโดยบริษัทไทยโพลิเอททีลีน จำกัด (THAI POLYETHYLENE CO.,LTD.) เป็นเกรดรีไซเคิลที่ใช้ในโรงงานผลิตโรโตโมล มีค่าดัชนีการไหล เท่ากับ 3.7

g/10 min (บดเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมโรโตโมลเพื่อช่วยให้พลาสติกหลอมง่ายขึ้น)

3.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide)

ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ในการวัลคาไนซ์ยาง มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง จัดจำหน่ายโดยบริษัทปัตตานีอุตสาหกรรม จำกัด

3.1.7 กรดสเตียริก (Stearic acid)

ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) สำหรับสารตัวเร่งในยาง มีลักษณะเป็นเกร็ดสีขาวอมเหลือง เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ผลิตโดยบริษัท Imperial Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

3.1.8 N-(1,3-Dimethylbutyl,-N-phenyl-phenylenediamine) (6PPD)

ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Andegradant) ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับสูตรยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์และยังมีหน้าที่ควบคุมความเสถียรของยางสังเคราะห์ด้วย มีลักษณะเป็นเม็ดกลมสีน้ำตาลดำ เป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง

3.1.9 N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulphenamide (TBBS)

ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง (Accelerator) ในการทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน มีลักษณะเป็นเม็ดสีครีม จัดจำหน่ายโดย ผลิตโดยบริษัท Flexsys America L.P. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3.10 Tetrametyl thiuram disulphide (TMTD)

มีลักษณะเป็นผงสีขาว เป็นสารกระตุ้นเกรดอุตสาหกรรม จัดจำหน่ายโดยบริษัท บอสวัสดุภัณฑ์ จำกัด ในขณะเดียวกันได้นำมาใช้เพื่อทำหน้าที่เป็นสารรีเคลม (Reclaiming agent) ด้วย

3.1.11 กำมะถัน (Sulphur)

ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองเป็นเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง ผลิตโดยบริษัท Siam Chemical Co., Ltd. ประเทศไทย

3.1.12 ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)

ใช้เป็นสารวัลคาไนซ์ เป็นอะโรมาติกเปอร์ออกไซด์ มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวขุ่น ผลิตโดยบริษัท Wuzhou International Co., Ltd. ประเทศจีน

3.1.13 ไดเมททิลออลฟีนอลิกเรซิน (Dimethylol phenolic resin, SP-1045)

มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง ใช้ในการดัดแปลงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพื่อใช้เป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) เป็นสารพวกฟีนอลิกเรซินที่มีหมู่เมททิลออลอยู่ในช่วง 8-11% ช่วงจุดหลอมอยู่ระหว่าง 140-150 ^{o}C จุดอ่อนตัวอยู่ระหว่าง 80-95 ^{o}C มีความถ่วงจำเพาะ 1.04 ผลิตโดยบริษัท Schenectady International Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.1.14 มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride, $C_4H_2O_3$)

มาเลอิกเอนไฮไดรด์เกรดวิเคราะห์ (AR-grade) มีความบริสุทธิ์ 98.0% มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขุ่น จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 52-54 ^{o}C ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ (Brabender Plasticorder)

เป็นเครื่องผสมแบบปิดขนาดเล็กรุ่น PLE 331 ผลิตโดยบริษัท Braberder Ohg Duisburg ประเทศเยอรมัน ประกอบด้วยโรเตอร์ 2 ตัว มีปริมาตรความจุของห้องผสมเท่ากับ 80 ลบ.ซม. สามารถควบคุมความเร็วโรเตอร์และอุณหภูมิขณะผสมได้ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ เครื่องผสม (Plasticorder PLE 331) ใช้ Heater ในการให้ความร้อน โดยมีตัวควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) ตัวเครื่องจะเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณข้อมูล (data acquisition system) เพื่อวัดค่าทอร์คและอุณหภูมิขณะผสม เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับเตรียม เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ โดยวิธีการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์

3.2.2 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (two roll mill)

ใช้บดผสมยางคอมเปาด์ ประกอบด้วยลูกกลิ้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว ความยาว 14 นิ้ว ความเร็วผิวลูกกลิ้งหน้า 21.4 รอบ/นาที ความเร็วผิวลูกกลิ้งหลัง 25.7 รอบ/นาที อัตราความเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลัง (friction Ratio) เท่ากับ 1/1.21 สามารถปรับอุณหภูมิสูงสุดได้ที่ 399 ^{o}C ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัดชัยเจริญการช่าง กรุงเทพมหานคร

3.2.3 เครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR)

เครื่อง ODR รุ่น 2000 ผลิตโดยบริษัท Monsanto Co., Ltd., USA. ใช้จานโลหะเป็นแบบ Biconical disk การหมุนจะหมุนกลับไปกลับมาทำมุม 1 องศา ด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที เป็นเครื่องสำหรับหาเวลาในการสุกของยาง (cure time) และเวลาสุกก่อนกำหนด (scorch time)

3.2.4 เครื่องผสมแบบปิดชนิด Banbury

เป็นเครื่องผสมแบบปิด ผลิตโดยบริษัทชัยเจริญการช่าง กรุงเทพมหานคร แบบเครื่อง 21010 ประกอบด้วยโรเตอร์ 2 ตัว มีปริมาตรความจุของห้องผสมเท่ากับ 2,500 ลบ.ซม. สามารถควบคุมความเร็วโรเตอร์และอุณหภูมิขณะผสมได้ ซึ่งได้มีการดัดแปลงเพื่ออุณหภูมิสูงในงานวิจัยครั้งนี้

3.2.5 เครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก (plastic injection molding machine)

เป็นเครื่องรุ่น TII-90F ขนาด 90 ตัน ผลิตโดยบริษัท Welltec Machinery LTD เขตปกครองพิเศษฮ่องกง ประเทศจีน ใช้สำหรับฉีดชิ้นทดสอบเทอร์โมพลาสติก

3.2.6 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine)

เป็นเครื่องยี่ห้อ Hounsfield รุ่น H 10 KS ผลิตโดยบริษัท Hounsfield Test Equipment ประเทศอังกฤษ เป็นเครื่องที่ใช้วัดแรงกดหรือแรงดึง สามารถรับแรงสูงสุดได้ 10 kN มี Load cell ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากค่าแรงที่ได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เป็นค่าแรงดึงหรือแรงกดในหน่วยนิวตัน สามารถตั้งความเร็วในการเคลื่อนที่ 0.01 – 1,000 มิลลิเมตรต่อนาที

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact tester)

รุ่น 5102.201 B เป็น Pendulum-Type Hammers Machines ผลิตโดยบริษัท Zwick Material Testing ใช้สำหรับการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก

3.2.8 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟาเรด สเปคโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)

บริษัท Nicolet Instrument Corporation ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเครื่องรุ่น Omnic ESP Magna-IR 560 Spectrometer, Nicolet ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างทางโมเลกุลของพอลิเมอร์โดยอาศัยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

3.2.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope-SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดรุ่น JSM 5410 ผลิตโดยบริษัท JOEL ประเทศญี่ปุ่น เป็นกล้องที่ ใช้แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบเทอร์มิออนิค (thermionic emission electron gun) สามารถให้กำลังแยกแยะเชิงระยะทาง ได้ประมาณ 3.5 nm ที่ 30 kV มีอุปกรณ์ตรวจวัดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) และยังต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ธาตุของบริษัท OXFORD รุ่น INCA 300 สามารถวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบได้ทั้งเชิงคุณภาพ และปริมาณ

3.2.10 เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ สกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

เครื่องเอกซ์ทรูดแบบสกรูเดี่ยวใช้ในการเตรียมยางมาสเตอร์แบท (Masterbatch) ให้เป็นเส้นเพื่อนำไปตัดเป็นเม็ดใช้ในการเบลนด์กับพลาสติกในเครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่ ต่อไป ผลิตโดยบริษัทจากประเทศอังกฤษ (England)

3.2.11 เอกซ์ทรูดเดอร์สกรูคู่

เป็นเอกซ์ทรูดเดอร์ที่มีสกรูสองสกรูที่เคลื่อนที่พร้อมกัน ใช้เบลนด์ระหว่างยาง Masterbatch กับพลาสติก

3.3 การเตรียมมาสเตอร์แบชของยาง

ทำการเตรียมมาสเตอร์แบชระหว่างยางและยางครัมบ์โดยการผสมด้วยเครื่องผสมยางชนิดสองลูกกลิ้ง โดยใช้ลูกกลิ้งขนาด 6 นิ้ว ซึ่งมีลำดับการผสมดังนี้

1) บด NR นาน 3 นาที
2) ผสม CRM นาน 7 นาที
3) ผสม Stearic acid นาน 1 นาที
4) ผสม 6 PPD นาน 1 นาที
5) ผสม ZnO นาน 1 นาที
6) ผสม TBBS นาน 1 นาที
7) ผสม Sulphur นาน 1 นาที

3.4 การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท

การเตรียมเทอร์โมพลาสติกวัลคาไนเซท (TPV) จะเตรียมด้วยเครื่องมือหลักสองเครื่องขึ้นอยู่กับเนื้อหาในการศึกษา กล่าวคือ

3.4.1 เครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอเดอร์.ขนาด 80 มิลลิลิตร โดยใช้อุณหภูมิการผสมที่ 180^{0}C ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที ใช้ Fill factor ในการผสมเท่ากับ 0.8 โดยใส่พลาสติก 2 นาที และใส่มาสเตอร์แบชของยางเป็นเวลา 6 นาที

3.4.2 เครื่องผสมแบบปิดดัดแปลงใช้ระบบน้ำมันร้อนขนาด 2.5 ลิตร โดยใช้อุณหภูมิการผสมที่ 170^{0}C ใช้ Friction speed เท่ากับ 1500/1200 ใช้ Fill factor ในการผสมเท่ากับ 0.8 โดยมีลำดับการผสมแตกต่างกันตามชนิดของ HPPE ดังนี้คือ HDPE เกรดขวดน้ำจะ บดพลาสติกนาน 6 นาที และใส่มาสเตอร์แบชยางบดต่ออีก 12 นาที ส่วน HDPE เกรดอื่น ๆ บด มาสเตอร์แบชของยางก่อนนาน 2 นาที ใส่พลาสติกนาน 8 นาที

3.5 การเตรียมชิ้นทดสอบ

นำพอลิเมอร์เบลนด์ที่เตรียมได้ไปตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องบดพลาสติกและเตรียมชิ้นทดสอบด้วยเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติกโดยจะตั้งค่าเครื่องดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การตั้งค่าของเครื่องฉีดเทอร์โมพลาสติก

ความดัน		ความเร็ว		กำลังฉอยสกรู	
ปิดพิมพ์	110	ปิดพิมพ์	20	กำลังฉอยสกรู	700
ปิดพิมพ์กำลังต่ำ	80	ปิดพิมพ์กำลังต่ำ	20	ฉีดสุด	50
ปิดพิมพ์กำลังสูง	100	ปิดพิมพ์กำลังสูง	15	เปิดพิมพ์สุด	3000
เปิดพิมพ์	100	เปิดพิมพ์ช้า	15	เปิดพิมพ์ช้า	2000
เปิดพิมพ์ 1	100	เปิดพิมพ์เร็ว	20	เปิดพิมพ์กำลังต่ำ	1000
เปิดพิมพ์ 2	63	เปิดพิมพ์ช้า 2	12	เปิดพิมพ์เร็ว	200
ฉีดจังหวะ 1	63	เคลื่อนแท่นฉีด	8		
ฉีดจังหวะ 2	60	ตั้งพิมพ์	40		
ฉีดแช่	95	ฉีดจังหวะ 1	63		
หมุนสกรู	45	ฉีดจังหวะ 2	55		
กระตุกสกรู	5	ฉีดแช่	100		
กระตุกสกรู	5	หมุนสกรู	90		
เคลื่อนแท่นฉีด	8	กระตุกสกรู	10		
กระทุ้ง	20	ความเร็วกระทุ้ง	50		
คลายเกลียว	8	คลายเกลียว	0		
ตั้งพิมพ์	60	เคลื่อนพิมพ์ช้า	2		