

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างชุดทดสอบสมบัติการไหลคาปิลลารีรีโอมิเตอร์แบบควบคุมอัตราเคียดเนียน (Rate-controlled capillary rheometer) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราเคียดเนียน อุณหภูมิการทดสอบ รวมถึงขนาดและลักษณะของช่องทางการไหลที่มีต่อสมบัติการไหลของยางธรรมชาติ ซึ่งได้แก่ ค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และอัตราส่วนการบวมตัว (Die swell ratio) เมื่อใช้ระบบการคงรูปแบบดั้งเดิม (Conventional vulcanization system, CV) และระบบการคงรูปแบบประสิทธิภาพ (Efficient vulcanization system, EV) โดยได้เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากยางคอมพาวนด์ที่ไม่ผสมสารคงรูปหรือกำมะถัน (Non-sulfur system) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาอิทธิพลของชนิดสารตัวเติม ซึ่งได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และเขม่าดำ ที่ปริมาณ 0 ถึง 30 phr จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนืดปรากฏของยางคอมพาวนด์มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราเคียดเนียนและอุณหภูมิการทดสอบเพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณสารตัวเติมส่งผลให้ยางคอมพาวนด์มีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่อัตราส่วนการบวมตัวมีแนวโน้มลดลง จากผลการวิเคราะห์สมบัติการไหลของยางคอมพาวนด์เมื่อไหลผ่านช่องทางการไหลขนาดเล็กพบว่าค่าความหนืดและอัตราส่วนการบวมตัวของยางคอมพาวนด์ที่ไม่ผสมสารคงรูปมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ในขณะที่อัตราส่วนการบวมตัวของยางคอมพาวนด์ที่ผสมสารคงรูปมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ผิวของยางคอมพาวนด์และปรากฏการณ์การเลื่อนตัวที่ผนังของหัวขึ้นรูปที่มีขนาดเล็ก และเมื่อพิจารณาถึงลักษณะช่องทางการไหลที่มีต่อสมบัติการไหลของยางคอมพาวนด์พบว่า ค่าความหนืดปรากฏและอัตราส่วนการบวมตัวของยางคอมพาวนด์เมื่อไหลผ่านช่องทางการไหลขนาดเล็กแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมมีค่ามากกว่าช่องทางการไหลแบบหน้าตัดกลม จากผลการวิเคราะห์ลักษณะของยางคอมพาวนด์เมื่อไหลผ่านหัวขึ้นรูป ผู้วิจัยได้พบปรากฏการณ์ “Super-extrusion” ซึ่งคาดว่าจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ การเชื่อมขวางบริเวณผิวของยางคอมพาวนด์ รูปแบบการเชื่อมขวาง การเลื่อนตัวที่ผนังของหัวขึ้นรูป และการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารตัวเติมกับเนื้อยางคอมพาวนด์ งานวิจัยนี้ได้นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของยาง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่องคาปิลลารีรีโอมิเตอร์ที่มีช่องทางการไหลขนาดเล็กและขนาดปกติ จากผลการวิเคราะห์พบว่า การใช้ค่าความหนืดที่ได้จากเครื่องคาปิลลารีรีโอมิเตอร์ที่มีช่องทางการไหลขนาดเล็ก ให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับผลการฉีดจริง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปรากฏการณ์เลื่อนตัวที่ผนังมีความสำคัญอย่างยิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

คำสำคัญ: ช่องทางการไหลขนาดเล็ก พฤติกรรมการไหล ยางคอมพาวด์ คาปิลลารีรีโอมิเตอร์ ความหนืด การเลื่อนตัวที่ผนัง

Abstract

In this work, the rate-controlled capillary rheometer was specially designed and constructed in order to primarily investigate the influences of shear rate, test temperature, vulcanization system, filler type and content on the rheological properties of natural rubber compounds. The rheological properties of rubber compounds were characterized with respect to the apparent viscosity and die swell ratio. The effects of flow channel (i.e. type, size, and length) were main interest. The measured results indicated that the apparent viscosity of rubber compound tended to decrease with increasing shear rate and test temperature. It was also found that the apparent viscosity increased, while the die swell ratio of rubber compound tended to decrease with increasing amount of filler added. From the rheological results obtained by using the micro-channel, for the non-sulfur system, it should be noted that the viscosity and die swell ratio of rubber compound significantly decreased as compared to those obtained from conventional and efficient vulcanizing systems. This was due to the occurrences of premature crosslink at the skin layer and the slippage of rubber compound during the flow in micro-channel. The apparent viscosity and swelling ratio of rubber compound by using slit die was higher than that of circular die. Furthermore, the super-extrusion phenomenon was found in this work which was probably associated with the occurrences of premature crosslink at the skin layer, type of crosslink, slippage at the die wall, and filler-rubber matrix interaction, respectively. In addition, the computer simulation program was used to simulate the flow behavior by using the rheological data obtained from micro-channel and traditional capillary rheometer. It can be seen that the simulated results were in agreement with the experimental ones. It should be noted that the effect of wall slip should be taken into consideration for the development of mathematical model used in simulation program.

Key words: Micro-channel, Rheological behavior, Rubber compounds, Capillary rheometer, Viscosity, Wall slip