**บทคัดย่อ**

ผลของขนาด ปริมาณ และการปรับปรุงพื้นผิวของพอตเตอรีสโตนต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยพอตเตอรีสโตนที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม สองกลุ่มแรกเป็นพอตเตอรีสโตนที่ไม่ได้ผ่านการบด แต่ผ่านการคัดแยกขนาดด้วยตะแกรงร่อน แบ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาดเล็กกว่า 106 ไมครอน (PS(<106)) และที่มีขนาดเล็กกว่า 38 ไมครอน (PS(<38)) อีกสองกลุ่มเป็นพอตเตอรีสโตนที่ผ่านการบด โดยแบ่งกลุ่มตามกรรมวิธีที่ใช้บด กลุ่มที่ผ่านการบดด้วย current jet mill (PS(JM)) และที่ผ่านการบดด้วย wet ball mill (PS(BM)) ผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของพอตเตอรีสโตนก่อนผ่านการสั่นด้วยคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิค จากค่า d(0.5) และ d(0.9) สามารถเรียงลำดับพอตเตอรีสโตนจากกลุ่มที่มีขนาดใหญ่ที่สุดไปเล็กที่สุด ได้ดังนี้ PS(BM) PS(<106) PS(<38) และ PS(JM) อย่างไรก็ตามหลังผ่านการสั่นด้วยคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิค พบว่า PS(BM) มีค่า d(0.5) ต่ำที่สุดและค่าที่ได้ก็น้อยกว่าไมครอน ในขณะที่พอตเตอรีสโตน 3 กลุ่มที่เหลือมีค่า d(0.5) ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 3-5 ไมครอน ปริมาณของพอตเตอรีสโตนที่เติมอยู่ที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง สารคู่ควบไซเลน Si69 และกรดสเตียริกที่ความเข้มข้น 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักถูกใช้เป็นตัวปรับปรุงพื้นผิว โดยความสามารถในการเสริมแรงของพอตเตอรีสโตนถูกศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้สารตัวเติมเสริมแรงทางการค้า 2 ชนิด คือ ซิลิกาแบบตกตะกอนและคาร์บอนแบล็ก

ผลการทดลองพบว่า การเติมพอตเตอรีสโตนทำให้ระยะเวลาสกอร์ชและเวลาในการคงรูปยางลดลง โดย PS(BM) จะส่งผลทำให้ระยะเวลาในการคงรูปยางลดลงมากที่สุด ในขณะที่ปริมาณของพอตเตอรีสโตนที่เติมไม่มีผลต่อค่าทั้งสอง สำหรับสมบัติเชิงกลของยางที่เติมพอตเตอรีสโตนจะขึ้นกับทั้งขนาดและปริมาณของพอตเตอรีสโตนที่เติม โดยรวมแล้วยางธรรมชาติที่เติม PS(BM) ที่ปริมาณตั้งแต่ 20 ถึง 50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง มีค่าความทนแรงดึง ความต้านการฉีกขาด ความต้านทานการขัดถู และความแข็งสูงกว่ายางที่ไม่เติมสารตัวเติมใดๆ และค่าที่ได้ยังสูงกว่าการเติมพอตเตอรีสโตนกลุ่มอื่นๆ โดยปริมาณของ PS(BM) ที่ให้ค่าความทนแรงดึง ความต้านการฉีกขาด และความต้านทานการขัดถูที่สูงที่สุดจะอยู่ที่ 30 ส่วนในร้อยส่วนของยาง สำหรับค่าความแข็งของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอตเตอรีสโตนที่เติม เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของยางที่เติมพอตเตอรีสโตนกับยางที่เติมคาร์บอนแบล็ก พบว่า ความสามารถในการเสริมแรงของพอตเตอรีสโตนมีค่าต่ำกว่ามาก ในขณะที่ค่าความทนแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และความต้านทานการขัดถูสูงสุดของยางที่เติมซิลิกาแบบตกตะกอนที่ไม่ได้เติมสารปรับปรุงพื้นผิวเมื่อเทียบกับยางที่เติม PS(BM) พบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยปริมาณของซิลิกาแบบตกตะกอนและ PS(BM) ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 20 และ 30 ส่วนในร้อยส่วนของยางตามลำดับ การปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 และกรดสเตียริกไม่มีผลต่อความสามารถในการเสริมแรงของพอตเตอรีสโตนแต่อย่างไร แต่ทว่า ซิลิกาแบบตกตะกอนที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน Si69 จะให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่าซิลิกาแบบตกตะกอนที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวอย่างชัดเจน

**Abstract**

Effects of size, amount, and surface modification of pottery stone (PS) on the curing and mechanical properties of natural rubber were studied here. PS used here was divided into four groups. Two of these were raw PS without grinding. By sieving, PS with particle size less than 106 micron (PS(<106)) and less than 38 micron (PS(<38)) were obtained. The rests were ground PS classified by grinding method. One was PS ground by current jet milling, PS(JM). The other was PS ground by wet ball milling, PS(BM). Results from determining particle size distribution of PS prior to ultrasonicating showed that the order of PS according to their d(0.5) and d(0.9) from one with the largest size to one with the smallest size was PS(BM), PS(<106), PS(<38), and PS(JM). However, it was shown that after ultrasonicating for 10 min, PS(BM) had the smallest d(0.5) and its value was less than micron. The remaining three PS groups showed nearly the same d(0.5) which was in the range of 3-5 micron. The amounts of PS were varied from 10 to 20, 30, 40 and 50 phr, respectively. Silane coupling agent Si69 and stearic acid at 2 and 4% by weight was used as a surface modifier. The ability to reinforce of PS was studied in comparison with two commercial reinforcing fillers, precipitated silica and carbon black.

The results showed that the presence of PS shortened the scorch time and optimum cure time. PS(BM) had the greatest effect on the optimum cure time, while PS loading did not show any significant impact on these two curing properties. For mechanical properties, it was observed that they depended on both size and amount of PS. Generally, NR filled with PS(BM) from 20 to 50 phr gave higher tensile strength, tear strength, abrasion resistance and hardness than not only those of gum NR but also those of NR filled with the remaining three PS groups. The optimum loading of PS(BM) for the first three properties was at 30 phr. While the hardness increased proportionally with the increase in PS loading. When compared to carbon black, the degree of reinforcing of PS(BM) was considerably low. However, the highest obtainable tensile strength, tear strength and abrasion resistance of NR filled with precipitated silica without surface modifier were comparable to those of NR filled with PS(BM). The optimum loading of precipitated silica and PS(BM) was 20 and 30 phr, respectively. Surface modification of PS by silane coupling agent Si69 and stearic acid had no effect on the ability to reinforce of PS. Nevertheless, the Si69 modified surface precipitated silica gave NR much higher mechanical strength than the unmodified surface one.