

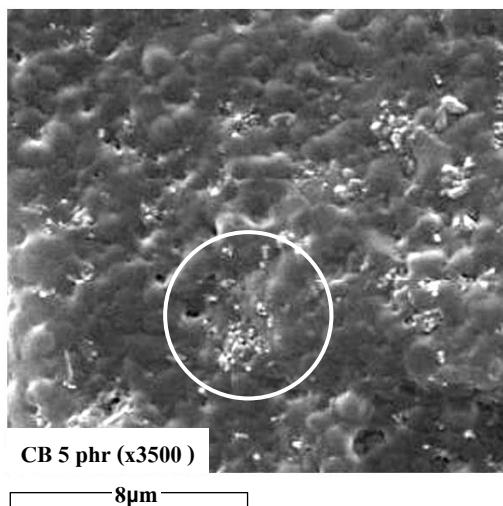
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

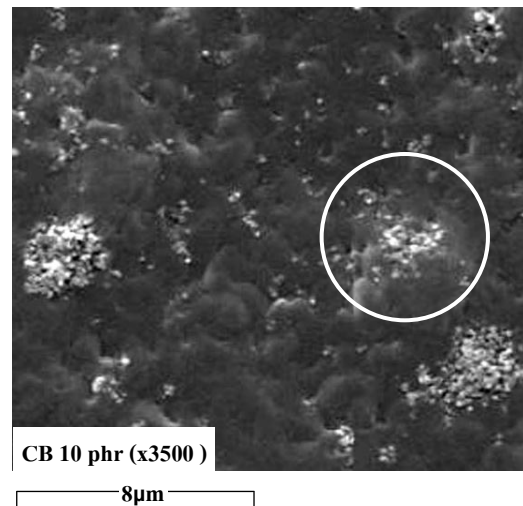
4.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและคาร์บอนแบล็ก

4.1.1 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติและคาร์บอนแบล็กแสดงตามปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่เติมลงในยางธรรมชาติ

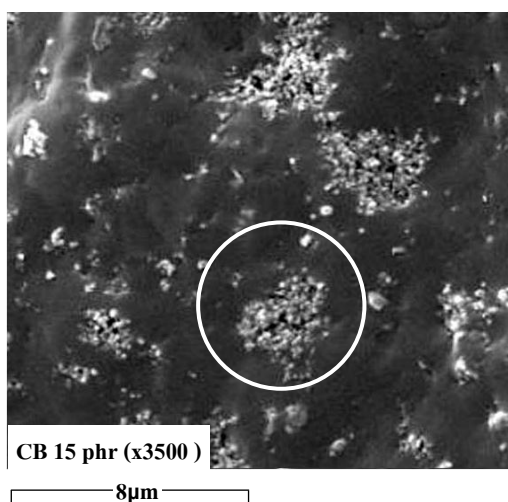
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบยางธรรมชาติ และคาร์บอนแบล็ก ซึ่งขนาดอนุภาคของคาร์บอนแบล็กที่ทดสอบคือ 43 nm จากรูปที่ 4.1 (ก) - (จ) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เพิ่มขึ้นจะมีการกระจายตัวในเนื้อยางธรรมชาติมากขึ้น นอกจากนี้ ที่ ปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้นจะมีการเกาะกลุ่มกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กมากขึ้น อันเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้มีอนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้อยางมาก จึงทำให้มีการกระจายตัวในเนื้อยางธรรมชาติมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการให้อนุภาคคาร์บอนแบล็ก เกาะกลุ่มกันเป็นร่างแหออกจากศูนย์กลาง โมเลกุลทำให้มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนมากกว่าที่ปริมาณ คาร์บอนแบล็กน้อย



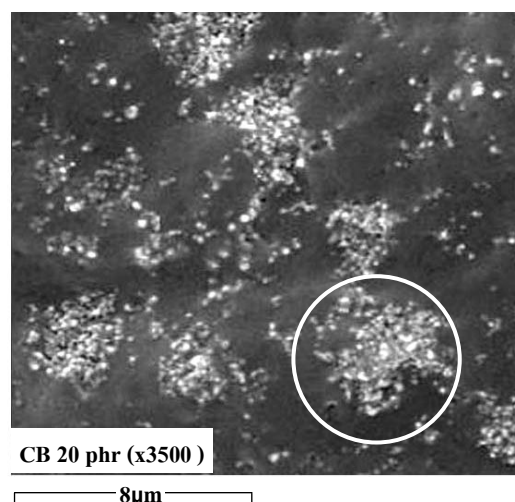
(ก)



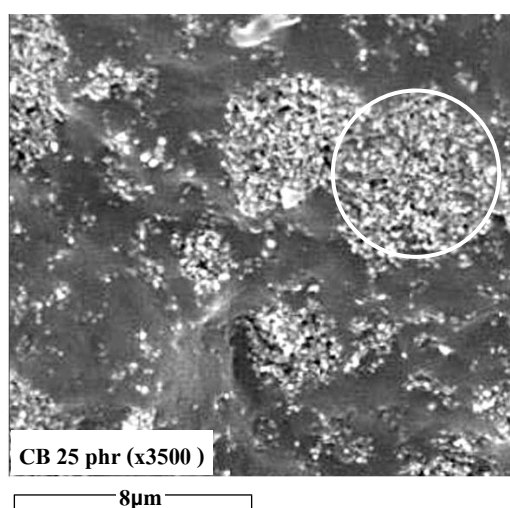
(ข)



(ก)



(ง)



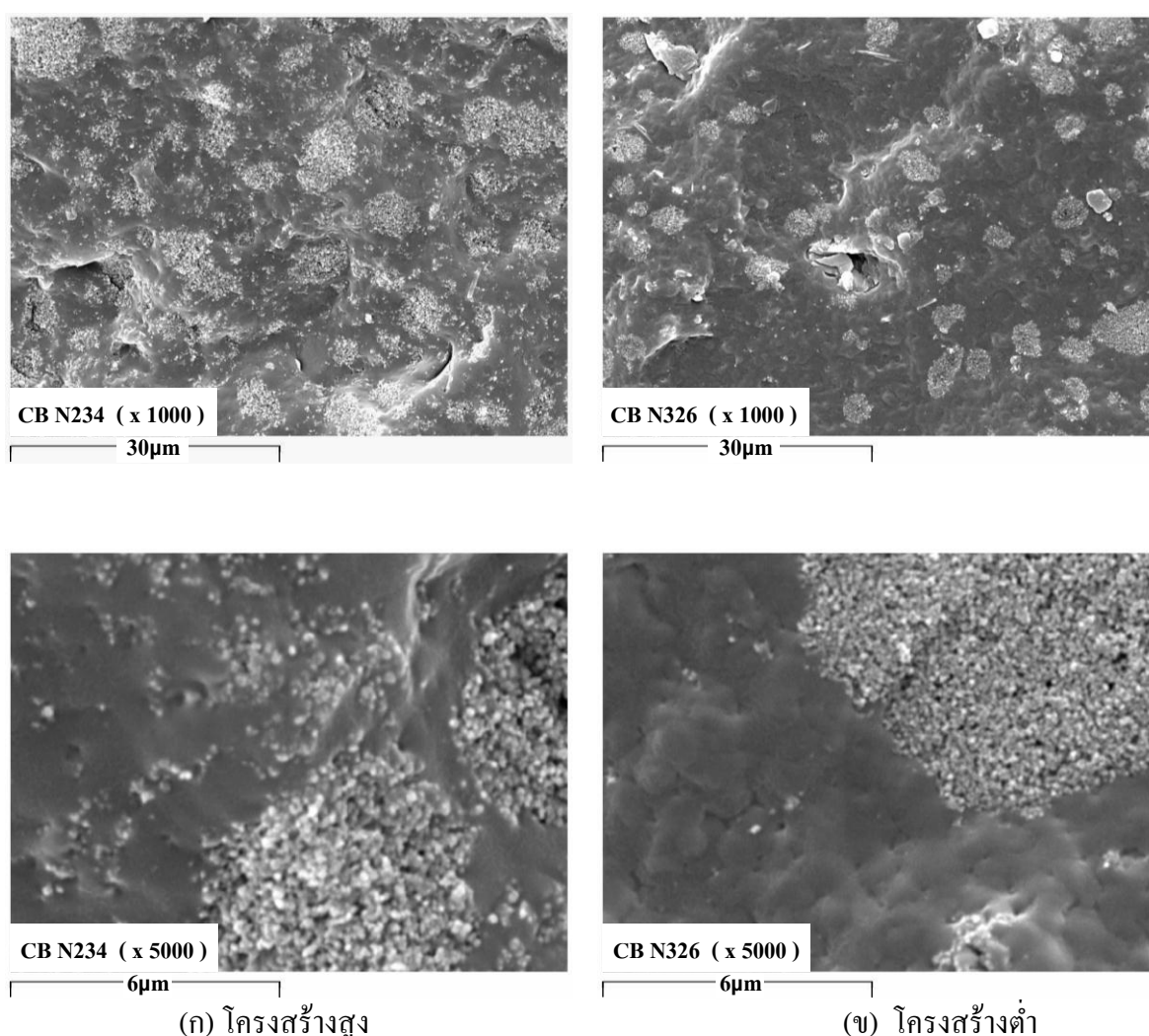
(จ)

รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของคาร์บอนแบล็ก (N550) จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 3,500 เท่า เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เติมลงไปในช่วง 5 – 25 phr

4.1.2 ผลของสัณฐานวิทยาของคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงและต่ำ

รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติที่ผสมคาร์บอนแบล็ก เปรียบเทียบระหว่าง คาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง และโครงสร้างต่ำ ได้แก่ คาร์บอนแบล็ก N234 ซึ่งมีขนาดอนุภาค 18 nm

และ N326 มีขนาดอนุภาค 28 μm จากรูปแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้อยางของคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงมากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ นอกจากนี้ยังแสดงถึง ลักษณะที่เป็นกลุ่มก้อนของคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงจะมีอนุภาคที่เกาะตัวเป็นกิ่งก้านสาขายาว และซับซ้อน ออกจากโมเลกุลอนุภาคแกนกลางมากกว่า คาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ อันเนื่องมาจากคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงจะมีลักษณะการจัดเรียงอนุภาคที่มีลักษณะกระจายตัวเป็นร่างแหที่ซับซ้อนออกจากแกนกลางมากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำที่มีการจัดเรียงอนุภาคที่เกาะกลุ่มกันอยู่แกนกลางโมเลกุลทำให้สามารถเห็นการกระจายตัวของคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงมากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ

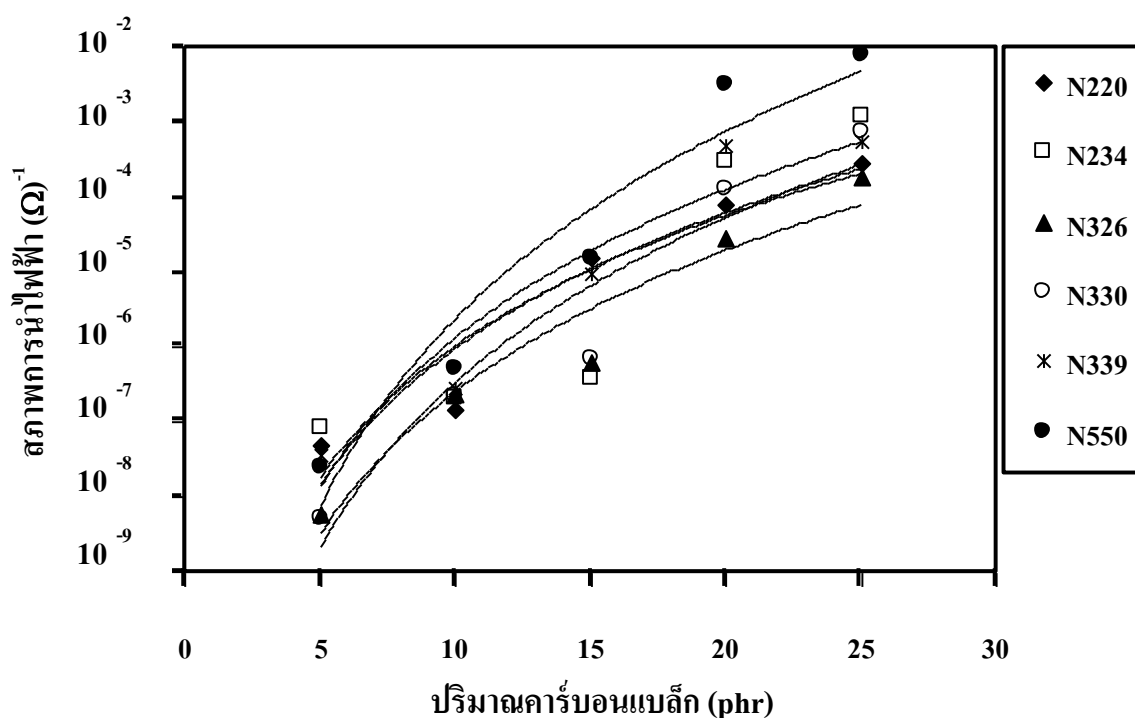


รูปที่ 4.2 สันฐานวิทยาเปรียบเทียบคาร์บอนแบล็ก N234 ที่มีโครงสร้างสูงและ N326 ที่มีโครงสร้างต่ำ จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ 25 phr

4.2 ปัจจัยทางกายภาพของคาร์บอนแบล็กต่อสภาพการนำไฟฟ้า

4.2.1 ปริมาณของคาร์บอนแบล็กที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ

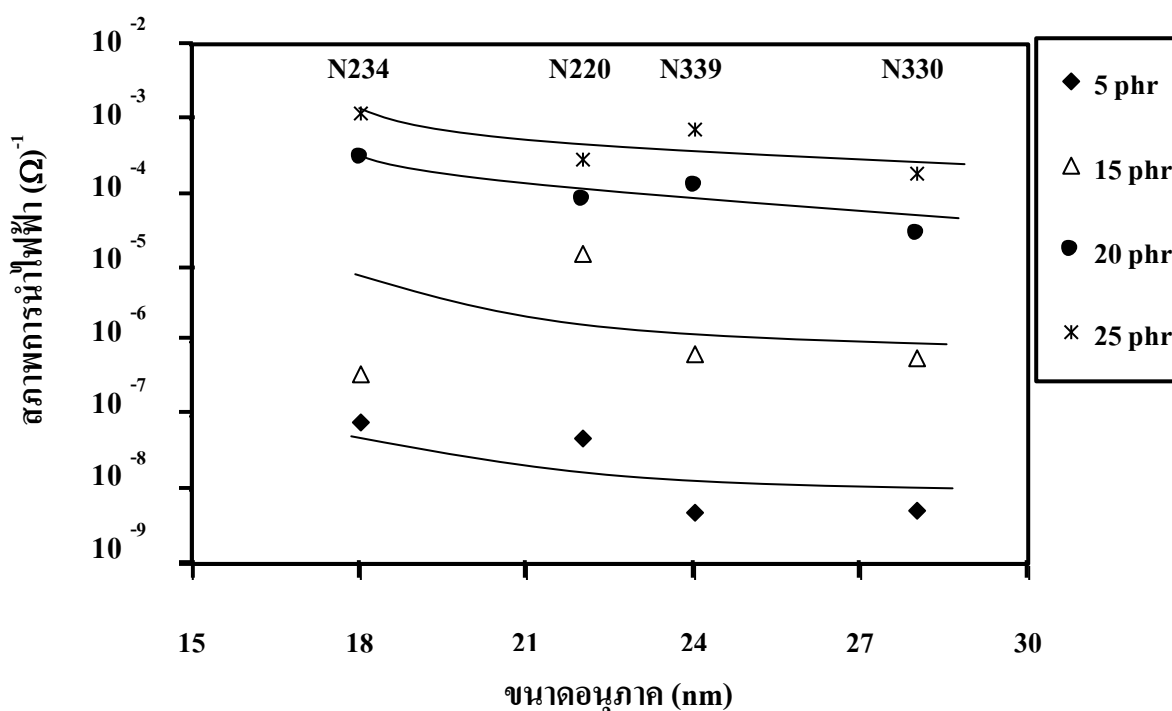
ในการเติมวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าลงในพอลิเมอร์ที่ไม่นำไฟฟ้าจะสามารถเพิ่มสมบัติในการนำไฟฟ้าได้โดยสมบัติในการนำไฟฟ้าจะขึ้นกับปริมาณวัสดุนำไฟฟ้าที่เติมลงในพอลิเมอร์แต่เมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุนำไฟฟ้ามากขึ้นๆ สมบัติในการนำไฟฟ้าจะเข้าใกล้ค่าหนึ่งซึ่งจะใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุนำไฟฟ้าที่เติมลงไป [10] โดยจากรูปที่ 4.3 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าตามอัตราส่วนปริมาณ คาร์บอนแบล็ก ได้แก่ 5 - 25 phr พบว่าที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กน้อย 5 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบจะเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ $10^{-9} \Omega^{-1}$ เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติบริสุทธิ์ ที่มีสภาพการนำไฟฟ้าอยู่ในระดับ $10^{-14} \Omega^{-1}$ พบว่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10^6 เท่า และเมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้น จนถึง 25 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ $10^{-3} \Omega^{-1}$ คาร์บอนแบล็กทุกประเภทแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพการนำไฟฟ้าตามปริมาณคาร์บอนแบล็กในลักษณะเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กสูงกว่า 25 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้านี้จะมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าหนึ่ง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ผสม

4.2.2 ผลของขนาดอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของค่าสภาพการนำไฟฟ้ากับขนาดอนุภาคคาร์บอนแบล็ก ได้แก่ N234 ที่มีขนาดอนุภาค 18 nm ไปจนถึง N330 ที่มีขนาดอนุภาค 28 nm ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 5-25 phr พบความสัมพันธ์คือ แนวโน้มของขนาดอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อแนวโน้มสภาพการนำไฟฟ้าที่มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะส่งผลต่อการเข้าเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กกับเนื้อยางโดยทำให้เข้ากันได้ลดลง อย่างไรก็ตามในกรณี N550 ที่มีขนาดอนุภาค 43 nm มีค่าไม่สอดคล้องกับแนวโน้ม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปัจจัยอื่นที่สำคัญคือ โดยอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่ามาก จะสามารถส่งผ่านกระแสไฟฟ้าไปยังอนุภาคข้างเคียงได้ปริมาณมากกว่าโดยเทียบแต่ละอนุภาคกับคาร์บอนแบล็กที่ขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูง ซึ่งในส่วนการศึกษาโครงสร้างจะได้แสดงผลต่อไป

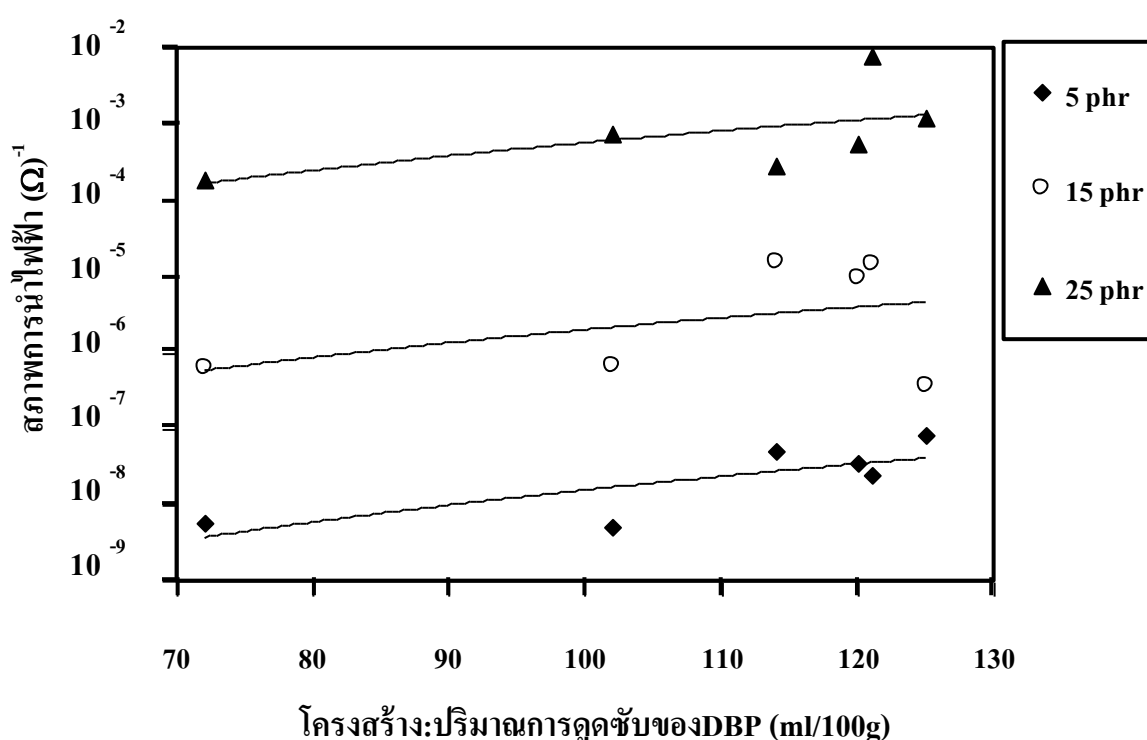


รูปที่ 4.4 ผลของขนาดอนุภาคที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ

4.2.3 ผลของโครงสร้างคาร์บอนแบล็กที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้า

รูปที่ 4.5 แสดงผลของลักษณะโครงสร้างที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบบางธรรมชาติที่สามารถจำแนกลักษณะโครงสร้างได้จากความสามารถในการดูดซับสาร DBP ซึ่งจะดูดซับที่พื้นผิวสัมผัสของคาร์บอนแบล็ก โดยคาร์บอนแบล็กที่ลักษณะโครงสร้างสูงจะสามารถดูดซับสาร DBP ได้มากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำแต่ทั้งนี้ยังขึ้นกับขนาดอนุภาคด้วย โดยได้

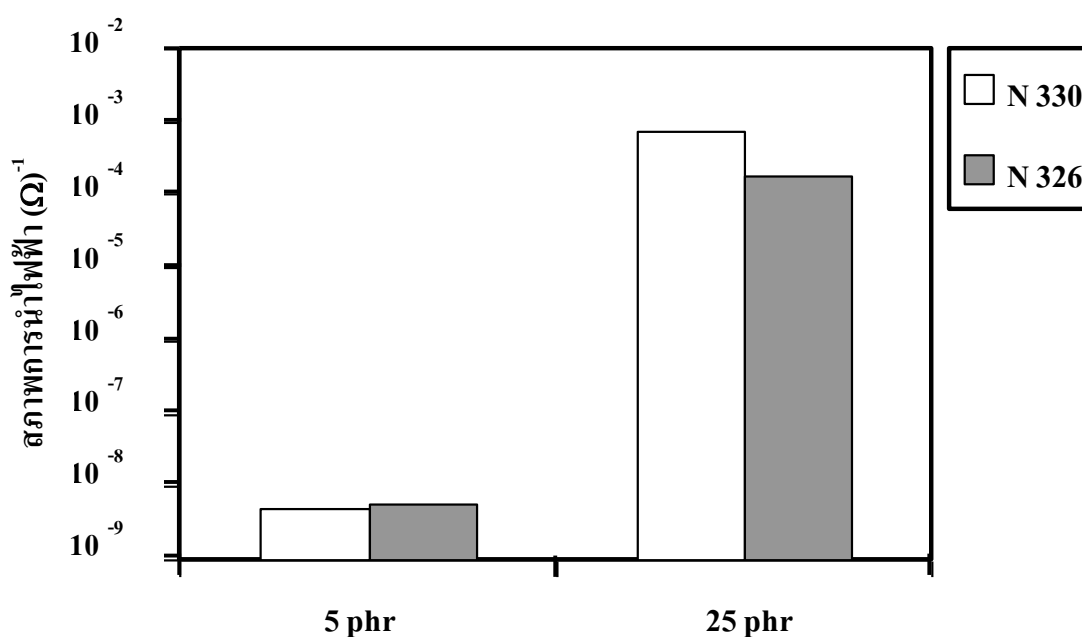
ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างต่ำคือ N326 ที่มีการดูดซับ DBP 72 ml/100g ไปจนถึง N234 ที่มีโครงสร้างสูงที่มีการดูดซับสาร DBP 125 ml/100g ในช่วงปริมาณคาร์บอนแบล็ก 5 – 25 phr พบว่าแนวโน้มค่าสภาพการนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนแบล็กที่สูงขึ้น โดยโครงสร้างคาร์บอนแบล็กที่มีค่าสูงจะมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านสาขาและซับซ้อนตลอดจนมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่ยาวกว่าคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างต่ำ ทำให้คาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างสูงกว่ามีการกระจายตัวในเนื้อยางได้มากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ คาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงกระแสไฟฟ้าจึงสามารถส่งผ่านไปได้สะดวก ทำให้มีสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่า



รูปที่ 4.5 ผลของโครงสร้างคาร์บอนแบล็กที่แสดงได้จากการดูดซับปริมาณสาร DBP ที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของวัสดุเชิงประกอบ

รูปที่ 4.6 แสดงผลของโครงสร้างที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าโดยเปรียบเทียบกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีขนาดอนุภาคเท่ากันแต่โครงสร้างแตกต่างกัน โดยคาร์บอนแบล็ก ที่นำมาเปรียบเทียบคือ N326 และ N330 ที่มีขนาดอนุภาค 28 nm มีโครงสร้างต่างกันคือ N326 ที่มีการดูดซับ DBP 72 ml/100g มีโครงสร้างที่ต่ำกว่า N330 ที่มีการดูดซับ DBP 102 ml/100g ที่มีลักษณะโครงสร้างที่สูงกว่า พบว่าที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กต่ำ คือ 5 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของทั้งสอง

ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งผลของลักษณะโครงสร้างคาร์บอนแบล็กไม่ส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้า ในช่วงปริมาณคาร์บอนแบล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็กสูงขึ้นเป็น 25 phr ค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่วัดได้จากคาร์บอนแบล็ก N330 ที่มีโครงสร้างสูงกว่า จะมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงขึ้นกว่าคาร์บอนแบล็ก N326 ที่มีโครงสร้างต่ำกว่า โดยมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 74 แสดงให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนแบล็กจะส่งผลต่อสมบัติในการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกันเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กที่ผสมมีปริมาณมากขึ้น



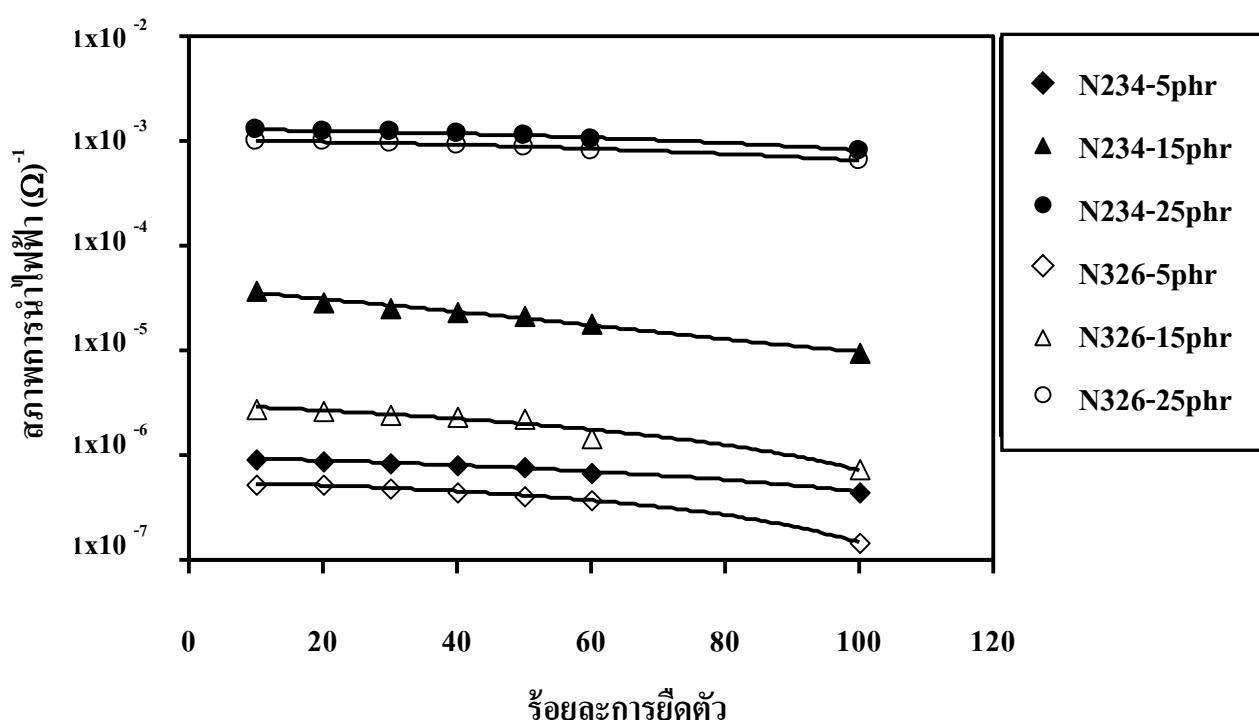
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์โครงสร้างคาร์บอนแบล็กที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของ N326 กับ N330 ที่มีขนาดอนุภาคเท่ากันคือ 28 นาโนเมตร แต่มีโครงสร้างต่างกัน

4.3 ปัจจัยเชิงกลที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติ

4.3.1 ผลของการดึงยืดต่อสภาพการนำไฟฟ้าสัมพันธ์ตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก

รูปที่ 4.7 แสดงสภาพการนำไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการดึงยืด โดยเปรียบเทียบตามปริมาณคาร์บอนแบล็กของคาร์บอนแบล็ก N234 ที่มีโครงสร้างสูง กับคาร์บอนแบล็ก N326 ที่มีโครงสร้างต่ำ จากรูปแสดงให้เห็นว่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อระยะการดึงยืดของยางที่ผสมคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้น โดยมีความสอดคล้องกับทุกค่าปริมาณคาร์บอนแบล็ก ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อระยะการดึงยืดเพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้อยางห่างจากกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านคาร์บอนแบล็กในเนื้อยางได้ยากขึ้น สภาพการนำไฟฟ้าจึงลดลง ทั้งคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง (N234)

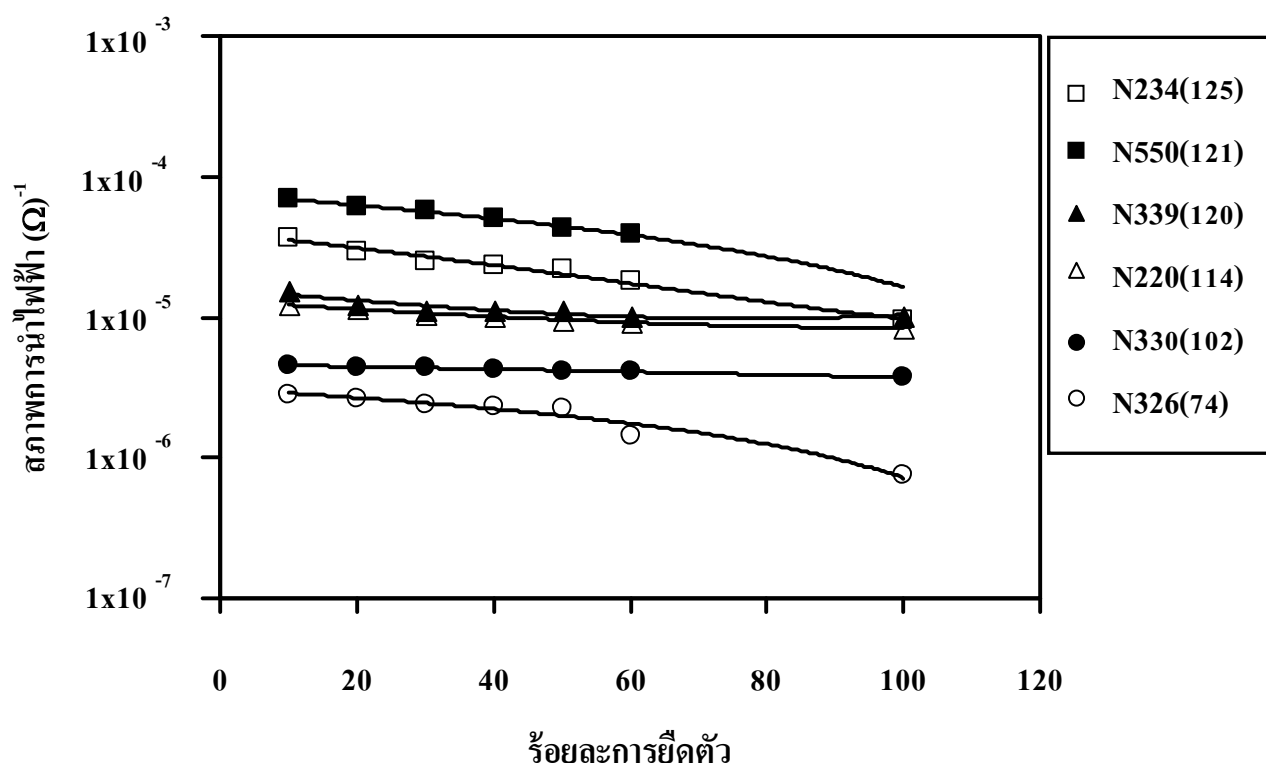
และคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ (N326) จะมีสภาพการนำไฟฟ้าลดลงในแนวโน้มนี้อย่างชัดเจน แต่ในคาร์บอนแบล็ก N326 ที่มีโครงสร้างต่ำที่ปริมาณน้อย (5-15 phr) เมื่อเพิ่มระยะการดึงยืดมากขึ้นจะแสดงผลการลดลงของสภาพการนำไฟฟ้าได้รวดเร็วกว่าคาร์บอนแบล็ก N234 ที่มีโครงสร้างสูง อาจเนื่องมาจาก คาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่สั้นกว่าคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างสูง ทำให้คาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างต่ำกว่ามีการกระจายตัวแต่มีความต่อเนื่องของแต่ละอนุภาคที่ก่อตัวยึดติดกันเป็นอย่างดีที่น้อยกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง เมื่อเกิดการดึงยืดที่มากขึ้น จะทำให้เกิดระยะห่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กมากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงซึ่งแต่ละอนุภาคยึดตัวกันเป็นร่างแหเสริมแรง จึงมีกระแสไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็วกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงที่มีการกระจายตัวยึดติดกันสูง แต่ในกรณีที่มีปริมาณคาร์บอนแบล็กในเนื้อของวัสดุเชิงประกอบสูงเช่นที่ 25 phr มีการกระจายตัวของอนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้ออย่างมาก ความต่อเนื่องอนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้ออยู่ชิดกันซึ่งพบได้ทั้งกรณีของคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงและคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ เมื่อวัสดุเชิงประกอบนี้ถูกดึงยืดการนำไฟฟ้าจะลดลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระยะการดึงยืดเดียวกันในกรณีที่มีคาร์บอนแบล็กปริมาณน้อยกว่า



รูปที่ 4.7 ผลของการดึงยืดที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้า โดยแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบระหว่างคาร์บอนแบล็ก N234 กับคาร์บอนแบล็ก N326 ตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก

4.3.2 ผลของการดัดยัดต่อสภาพการนำไฟฟ้าสัมพันธ์ตามโครงสร้างคาร์บอนแบล็ก

รูปที่ 4.8 สภาพการนำไฟฟ้าที่เป็นผลมาจากการดัดยัด แสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบตามโครงสร้างเรียงตามลำดับจากสูงไปต่ำคือ N234 มีโครงสร้างสูงจากการดูดซับสาร DBP 125 ml/100g จนถึง N326 โครงสร้างต่ำที่ดูดซับ DBP 74 ml/100g ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 15 phr พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่อมีการดัดยัดเพิ่มขึ้น โดยเกิดกับคาร์บอนแบล็กทุกลักษณะ โครงสร้างเหมือนกัน ระยะการดัดยัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คาร์บอนแบล็กทั้งโครงสร้างสูงและต่ำ มีระยะห่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านอนุภาคได้น้อยลง การนำไฟฟ้าจึงลดลง โครงสร้างคาร์บอนแบล็กที่มีค่าต่ำจะมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่งก้านสาขาและซับซ้อนน้อย ตลอดจนมีการเชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่น้อยกว่าคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างสูง ทำให้คาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างต่ำมีการกระจายตัวที่มีความต่อเนื่องของแต่ละอนุภาคที่ก่อตัวยึดติดกันในเนือยงน้อยกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง การเกาะกลุ่มตรงแกนกลางมากเมื่อมีการดัดยัดทำให้สภาพการนำไฟฟ้าลดลงเร็วกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงที่มีกิ่งก้านสาขาเชื่อมต่อมากกว่าซึ่งช่วยในการเสริมแรง

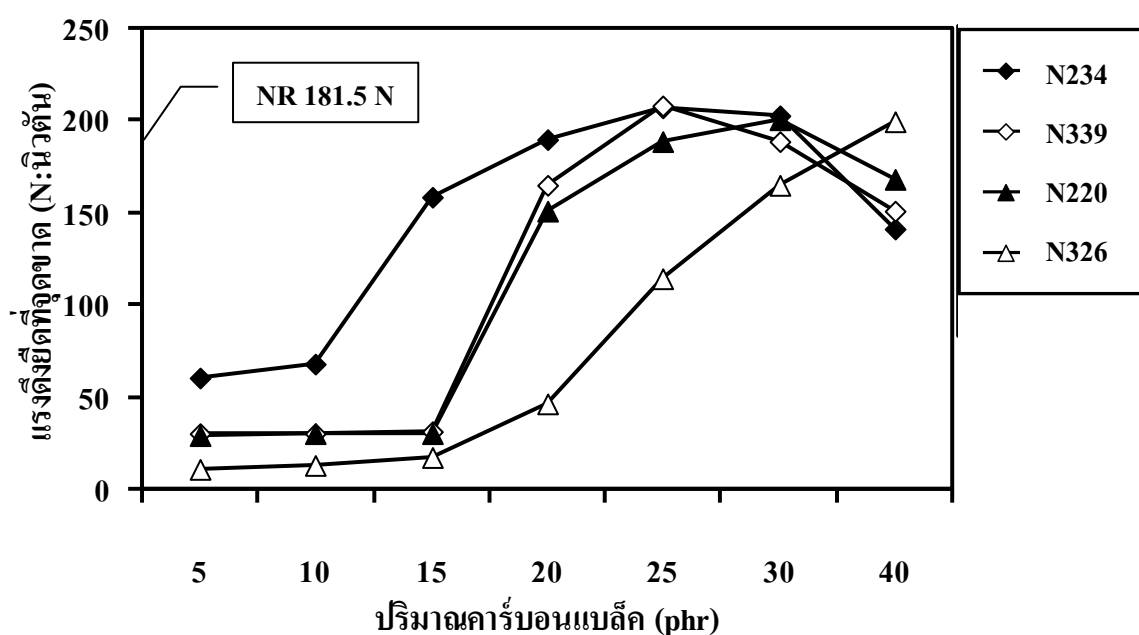


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของสภาพการนำไฟฟ้าที่มีต่อการดึงยึด โดยเปรียบเทียบตามโครงสร้าง ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กเท่ากันคือ 15 phr

4.4 ปัจจัยเชิงกลที่เป็นผลมาจากการใส่คาร์บอนแบล็ก

4.4.1 แรงดึงยึดสูงสุดที่จุดขาด

รูปที่ 4.9 แรงดึงยึดที่จุดขาดเปรียบเทียบตามลักษณะโครงสร้างที่แสดงจากการดูดซับสาร DBP ของคาร์บอนแบล็กที่ผสม ได้แก่ N234 ที่มีลักษณะโครงสร้างสูง ไปจนถึง N326 ที่มีลักษณะโครงสร้างต่ำ พบว่าแนวโน้มค่าแรงดึงยึดที่จุดขาดมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณคาร์บอนที่มากขึ้นจนถึง 25 phr ซึ่งเป็นกับคาร์บอนแบล็กทุกชนิด และเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากกว่า 25 phr คาร์บอนแบล็ก N234 และ N339 ซึ่งจัดเป็นคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงจะมีแนวโน้มแรงดึงที่จุดขาดลดลง ในกรณีคาร์บอนแบล็ก N220 ที่จัดเป็นคาร์บอนแบล็กโครงสร้างปานกลาง จะมีแนวโน้มแรงดึงที่จุดขาดสูงขึ้นจนถึงปริมาณ 30 phr จากนั้นจะมีค่าลดลง และที่คาร์บอนแบล็ก N326 ที่ปริมาณมากกว่า 25 phr จะมีแนวโน้มแรงดึงที่จุดขาดสูงขึ้นจนถึงปริมาณ 40 phr ซึ่งค่าแรงดึงนี้จะมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าหนึ่ง



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนแบล็กในยางกับแรงสูงสุดที่จุดขาด

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงที่จุดขาดของยางธรรมชาติที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก พบว่าคาร์บอนแบล็กที่ผสมในยางธรรมชาติตั้งแต่ 5 - 15 phr ทุกชนิดจะมีค่าแรงดึงที่จุดขาดน้อยกว่ายางธรรมชาติที่

ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการดึงยึดทางธรรมชาติที่ผสมคาร์บอนแบล็กในปริมาณต่ำ คาร์บอนแบล็กที่ทำหน้าที่เสริมแรงให้กับยางธรรมชาติแต่เนื่องจากมีปริมาณไม่มากพอที่จะเสริมแรงให้กับยาง ซึ่งในการเสริมแรงของคาร์บอนแบล็ก คาร์บอนแบล็กจะมีลักษณะการเรียงตัวระหว่างอนุภาคเป็นกลุ่มก้อน และแตกแขนงเป็นร่างแหเพื่อถ่ายเทแรงได้มีประสิทธิภาพ แต่ในกรณีที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กต่ำ ทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่มากพอที่จะสามารถเรียงตัวเป็นร่างแหได้ อีกทั้งอาจมีลักษณะของการเกิดยางบาวด์ (Bound Rubber) ซึ่งทำให้สมบัติในการเสริมแรงของคาร์บอนแบล็กลดลง โดยคาร์บอนแบล็กที่ทำหน้าที่ในการเสริมแรงจะมีลักษณะการเรียงตัวเป็นร่างแห โดยเกาะกับยางบาวด์ที่เกิดจากคาร์บอนแบล็กที่ทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติ ซึ่งที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กต่ำทำให้มีปริมาณคาร์บอนไม่มากพอที่จะยึดเกาะกับยางบาวด์เพื่อเสริมแรง และที่คาร์บอนแบล็กต่ำอาจเกิดยางบาวด์มาก จึงมีคาร์บอนแบล็กอิสระไม่มากพอที่จะเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนและร่างแหเพื่อเสริมแรง ประกอบกับในการดึงยึดยางเมื่อระยะการยืดเพิ่มสูงขึ้น จะทำให้ยางเสียสภาพในการยึดเกาะกับวัสดุเสริมแรง ทำให้แรงในการดึงยึดที่จุดขาดของยางที่ผสมคาร์บอนแบล็กปริมาณน้อย มีค่าน้อยกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก เมื่อคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นเป็น 30 phr คาร์บอนแบล็ก N234 N339 และคาร์บอนแบล็ก N220 ที่เป็นคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงและปานกลางที่จำแนกได้จากการดูดซับสาร DBP ซึ่งได้ทีกล่าวมาแล้วข้างต้นตามลำดับ จะมีค่าการดึงยึดที่จุดขาดสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของยางธรรมชาติที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนแบล็กที่มีปริมาณสูงขึ้นเพียงพอจะสามารถเกาะกลุ่มกันและเรียงตัวเป็นร่างแหได้ และเนื่องจากคาร์บอนแบล็ก N234 N339 และ คาร์บอนแบล็ก N220 มีโครงสร้างที่สูงและปานกลางตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างของแต่ละอนุภาคในโมเลกุลเป็นร่างแหกระจายตัวสูง และปานกลางตามลำดับ เมื่อคาร์บอนแบล็กมีปริมาณมากพอทำให้ง่ายต่อการเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน และยึดเกาะกันเป็นร่างแหโดยมียางบาวด์เป็นแกน ซึ่งตรงข้ามกับคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ (N326) ที่มีโครงสร้างของแต่ละอนุภาคในโมเลกุลเป็นกลุ่มก้อนไม่ได้เป็นร่างแหกระจายตัว ดังนั้นที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กเท่ากันเมื่อเทียบกับคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงจึงมีการเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนร่างหาน้อยกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง คาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำจึงสามารถเสริมแรงได้ต่ำกว่าค่าแรงดึงที่จุดขาดจึงน้อยกว่า และเมื่อที่คาร์บอนแบล็กมากขึ้นจนถึง 40 phr จะเห็นว่าที่คาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง(N234 และN339) และคาร์บอนแบล็กโครงสร้างปานกลาง (N220) จะมีค่าแรงดึงที่จุดขาดลดลงอันเนื่องมาจากมีปริมาณคาร์บอนแบล็กมากเกินไป มีการเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนของคาร์บอนแบล็กมากขึ้นทำให้มียางล้อมรอบคาร์บอนแบล็กน้อยลง ความสามารถในการเสริมแรงจึงลดลง เนื่องมาจากการเสริมแรงยางทำหน้าที่ในการรับแรง และกระจายแรงมายังอนุภาคคาร์บอนแบล็ก แต่เมื่อคาร์บอนแบล็กมีปริมาณมากเกินไป ทำให้มีคาร์บอนแบล็กบางส่วนเกาะตัวเป็นกลุ่มใหญ่ ซึ่งคาร์บอนแบล็กระหว่างอนุภาคยึดติดกันด้วยแรงทางกายภาพ เมื่อเกาะตัวเป็นกลุ่มใหญ่โดยไม่มียางธรรมชาติล้อมรอบทำให้ความแข็งแรงลดลง สมบัติในการกระจายแรงลดลงอันเนื่องมาจากการ

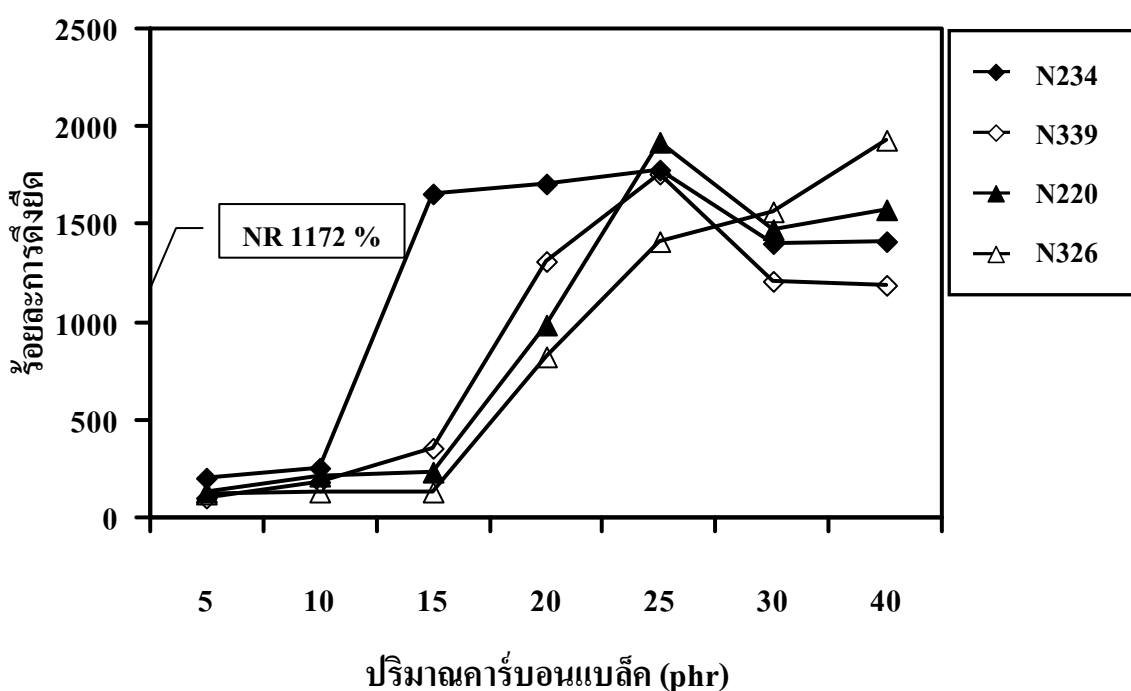
เกาะกลุ่มเป็นกลุ่มใหญ่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีค่าน้อยกว่าแรงระหว่างพันธะของอะตอมยางธรรมชาติกับยางธรรมชาติ และพันธะของอนุภาคของคาร์บอนแบล็กกับยางธรรมชาติของยางบาวด์ ทำให้สมบัติในการเสริมแรงลดลง ซึ่งต่างกับคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำ (N326) ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กเดียวกัน โดยคาร์บอนแบล็กมีการกระจายมากขึ้นแต่ยังไม่ได้เกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนมากจนลดสมบัติการเสริมแรง แต่เริ่มมีแนวโน้มการเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น โดยแสดงได้จากค่าแรงดึงยึดที่จุดขาดเริ่มมีแนวโน้มเข้าใกล้ค่าหนึ่ง

4.4.2 ร้อยละการดึงยึดที่จุดขาด

รูปที่ 4.10 แสดงร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดเปรียบเทียบตามลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนแบล็กที่ผสม เรียงจากสูง ได้แก่ N234 ไปจนถึงค่าต่ำ คือ N326 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดสูงขึ้นจนถึงช่วงปริมาณคาร์บอนแบล็ก 25 phr ซึ่งเป็นกับทุกอนุภาคคาร์บอนแบล็ก และเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กสูงกว่า 25 phr คาร์บอนแบล็ก ชนิด N234 N339 และ N220 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างสูงและปานกลางตามลำดับ จะมีแนวโน้มร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดลดลง ในขณะที่ N326 มีแนวโน้มร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดสูงขึ้นต่อไป

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดของยางธรรมชาติที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็กพบว่า คาร์บอนแบล็กที่ปริมาณน้อยตั้งแต่ 5-10 phr จะมีค่าร้อยละการดึงยึดที่จุดขาดน้อยกว่ายางธรรมชาติที่ผสมคาร์บอนแบล็ก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กน้อย ทำให้อนุภาคคาร์บอนไม่มากพอที่จะสามารถเรียงตัวเป็นร่างแหที่ทำให้มีสมบัติในการเสริมแรงได้ อีกทั้งอาจเกิดยางบาวด์ขึ้นซึ่งเมื่อคาร์บอนแบล็กต่ำ คาร์บอนแบล็กที่ไม่ได้สร้างพันธะกับยางธรรมชาติอาจมีไม่มากพอที่จะเกาะเรียงตัวเป็นร่างแหเพื่อเสริมแรง อีกทั้งยางธรรมชาติซึ่งปกติจะเกิดพันธะกันระหว่างโมเลกุลยางธรรมชาติเอง ซึ่งเมื่อมีการผสมคาร์บอนแบล็กในยางธรรมชาติทำให้ส่วนหนึ่งของยางธรรมชาติเกิดพันธะกับคาร์บอนแบล็กเป็นยางบาวด์ ทำให้จำนวนโมเลกุลของยางธรรมชาติโมโนเมอร์ที่สร้างพันธะเกิดเป็นพอลิเมอร์มีจำนวนน้อยลง ทำให้ความแข็งแรงโมเลกุลพอลิเมอร์ยางธรรมชาติน้อยกว่า เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติไม่ได้ใส่คาร์บอนแบล็ก อีกทั้งคาร์บอนแบล็กที่ปริมาณน้อยไม่สามารถช่วยในการเสริมแรง ทำให้ร้อยละการดึงยึดในช่วงปริมาณคาร์บอนแบล็กน้อยๆ มีค่าต่ำเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มเป็น 20 phr ค่าร้อยละการดึงยึดของคาร์บอนแบล็ก N234 และ N339 ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างสูงจะมีค่าร้อยละการดึงยึดสูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากคาร์บอนแบล็กโครงสร้างมีลักษณะการเรียงตัวระหว่างอนุภาคเป็นร่างแหซับซ้อน เมื่อมีปริมาณคาร์บอนในเนื้อยางมากขึ้นทำให้อนุภาคคาร์บอนแบล็กมีการเกาะเรียงตัวกันเป็นร่างแหต่อจากแกนยางบาวด์ ซึ่งช่วยในการเสริมแรงมากขึ้น ทำให้เมื่อมีการดึงยึดมากขึ้นคาร์บอนแบล็กที่ช่วยในการเสริมแรงทำให้ยางสามารถยืดไปได้มากกว่ายางที่ไม่ได้ใส่สารเสริมแรง และตรงข้ามกับคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำกว่า (N220 และ N326) ซึ่งการเรียงตัวเป็น

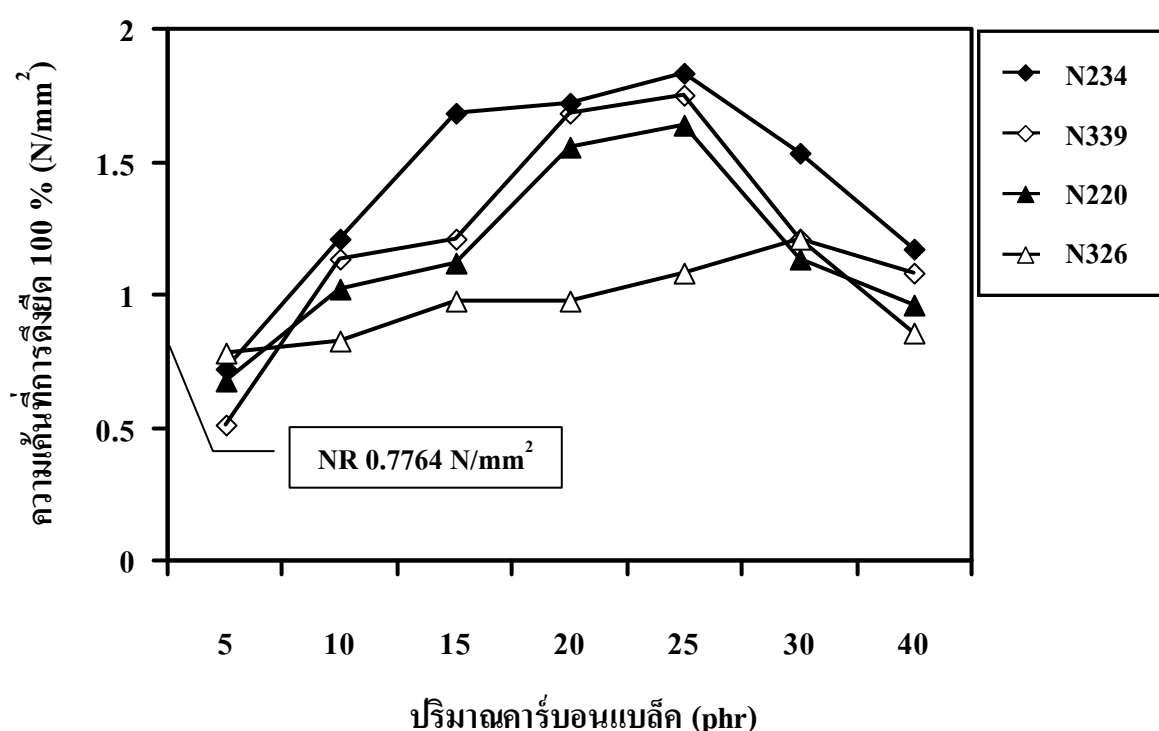
ร่างแห้งไม่มากพอที่จะเสริมแรงทำให้สามารถยืดไปได้ไม่มากเท่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูง เมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กเพิ่มขึ้นมากกว่า 20 phr คาร์บอนแบล็ก ชนิด N234 N339 และ N220 จะมีแนวโน้มร้อยละการดึงยืดที่จุดขาดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เพิ่มขึ้นจนมีค่ามากพอที่จะทำให้คาร์บอนบ่อนที่มีการเรียงตัวเป็นกลุ่มก้อนใหญ่มากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเสริมแรงลดลง อันเนื่องมาจากการเกาะกลุ่มเป็นกลุ่มใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีค่าน้อยกว่าแรงระหว่างพันธะของอะตอมยางธรรมชาติกับยางธรรมชาติ ทำให้เมื่อมีการดึงยืดมากขึ้นการขาดจะเกิดขึ้นในส่วนระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็ก ที่เป็นกลุ่มก้อนใหญ่ที่มีแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าแรงระหว่างโมเลกุลของยางธรรมชาติเอง และยางธรรมชาติกับอนุภาคคาร์บอนแบล็ก ซึ่งในส่วนของคาร์บอนแบล็ก N326 ที่มีโครงสร้างต่ำ แนวโน้มร้อยละการดึงยืดที่จุดขาดยังมีแนวโน้มสูงขึ้นได้ อาจเนื่องจากการเกาะกลุ่มเป็นกลุ่มใหญ่ของอนุภาคคาร์บอนแบล็กยังมีน้อยทำให้ยังสามารถเสริมแรงให้มีการยืดตัวที่จุดขาดสูงขึ้นได้อีก แต่เมื่อคาร์บอนแบล็กมีปริมาณมากเกินไปจะแสดงแนวโน้มลดลงเหมือนกับคาร์บอนแบล็กชนิดอื่น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของปริมาณคาร์บอนแบล็กในยางกับร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

4.4.3 ความต้านทานแรงดึง (Tensile Stress) ที่ร้อยละของการดึงยืด 100 (Modulus 100)

ความต้านทานแรงดึง ที่ร้อยละของการดึงยืด 100 แสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าค่าแรงต่อพื้นที่หน้าตัดที่ร้อยละของการดึงยืด 100 มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้น จนถึงปริมาณคาร์บอนแบล็ก 30 phr และเมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากกว่า 30 phr ค่าแรงต่อพื้นที่หน้าตัดจะมีแนวโน้มลดลง แนวโน้มนี้สังเกตได้ในทุกชนิดของคาร์บอนแบล็ก



รูปที่ 4.11 ความต้านทานแรงดึง ที่ร้อยละการดึงยืด 100

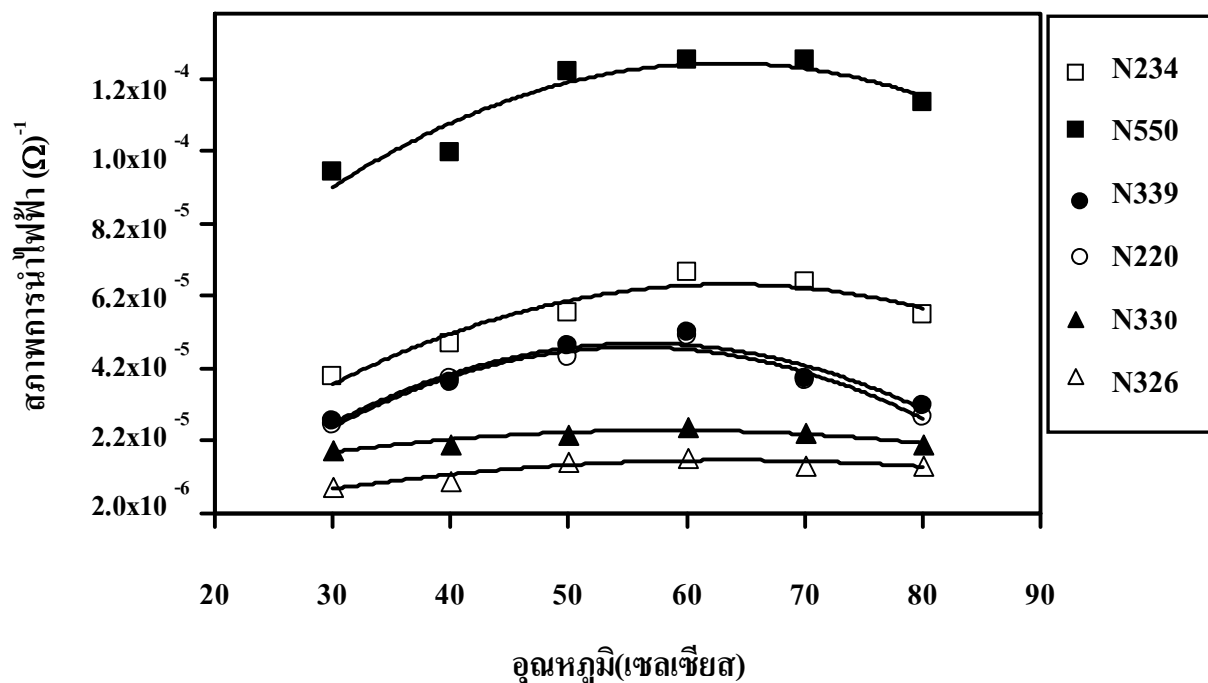
เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานแรงดึงที่ร้อยละการดึงยืด 100 ของยางธรรมชาติพบว่าที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 5 phr จะมีค่าความต้านทานแรงดึงน้อยกว่าค่าของยางธรรมชาติ อาจเนื่องมาจากเมื่อใช้ปริมาณคาร์บอนแบล็กต่ำ การก่อตัวเป็นกลุ่มก้อนและสร้างโครงสร้างร่างแหเพื่อเสริมแรงนั้นมีน้อยอีกทั้ง ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็กต่ำ คาร์บอนแบล็กส่วนหนึ่งจะเกิดการสร้างพันธะกับยางธรรมชาติเกิดเป็นยางบาวด์ ทำให้เหลือยางอิสระที่จะก่อตัวเป็นโครงสร้างเพื่อเสริมแรงไม่มากพอทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ร้อยละการดึงยืด 100 มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับค่าความต้านทานแรงดึงของยางที่ไม่ผสมคาร์บอนแบล็ก เมื่อปริมาณคาร์บอนแบล็กมากขึ้นจนถึง

30 phr ทำให้มีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้นมีการเรียงตัวเป็นร่างแหซับซ้อนมากขึ้นในเนื้อยาง ทำให้คาร์บอนแบล็กทำหน้าที่เสริมแรงได้มากขึ้นเมื่อมีการดึงยืดที่ยังไม่ทำให้เกิดการเสียสภาพการยึดเกาะกันระหว่างยางกับอนุภาคคาร์บอนแบล็ก คาร์บอนแบล็กจะมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงมากขึ้นซึ่งคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างสูงกว่าจะสามารถเสริมแรงได้มากกว่าคาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำกว่า และเมื่อคาร์บอนแบล็กมากกว่า 30 phr แนวโน้มค่าความต้านทานแรงดึงของร้อยละการดึงยืดที่ 100 มีค่าลดลงอันเนื่องมาจากในปริมาณคาร์บอนแบล็กที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดกลุ่มของคาร์บอนแบล็กที่ใหญ่ขึ้น โมเลกุลของอนุภาคคาร์บอนแบล็กรวมตัวกันมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีค่าน้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวของยางธรรมชาติกับยางธรรมชาติและยางธรรมชาติกับอนุภาคคาร์บอนแบล็ก เมื่อมีการดึงยืดมากขึ้นทำให้กลุ่มอนุภาคคาร์บอนแบล็กขนาดใหญ่อันเกิดจากปริมาณคาร์บอนแบล็กสูง จะเสียสภาพการเสริมแรงมากกว่ากลุ่มอนุภาคคาร์บอนแบล็กกลุ่มเล็กๆ และเป็นร่างแห

4.5 ผลของอุณหภูมิต่อการตอบสนองต่อการนำไฟฟ้า

4.5.1 การตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้าตามโครงสร้างคาร์บอนแบล็ก

รูปที่ 4.12 แสดงการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้า โดยแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบตามโครงสร้างที่วัดได้จากการดูดซับ DBP ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 74-125 ml/100g ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 15 phr พบว่าอุณหภูมิจะส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในลักษณะเป็นช่วงคือ ในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และอุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส สภาพการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง แนวโน้มนี้เกิดขึ้นกับคาร์บอนแบล็กทุกลักษณะโครงสร้าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่อุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โอเล็คตรอนมีการเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นจากการเพิ่มของอุณหภูมิทำให้พลังงานการกระตุ้นสูงขึ้น อีกทั้งการขยายตัวของเนื้อยางไม่สูงมากนักอันเนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงมาก และจากคาร์บอนแบล็กที่ช่วยเสริมแรงด้านการขยายตัว แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส พบว่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลง อันเนื่องมาจากอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การขยายตัวของยางมากขึ้นทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กมากขึ้นทำให้การนำไฟฟ้าลดลงเพราะกระแสไฟฟ้าผ่านได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่คาร์บอนแบล็กโครงสร้างสูงที่มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคมากกว่าอันเนื่องมาจากความเป็นกึ่งก้านและความซับซ้อนของอนุภาคคาร์บอนแบล็ก มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้าสูงกว่าที่คาร์บอนแบล็กโครงสร้างต่ำในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส อันเนื่องมาจากความสามารถในการเสริมแรงสูงกว่า

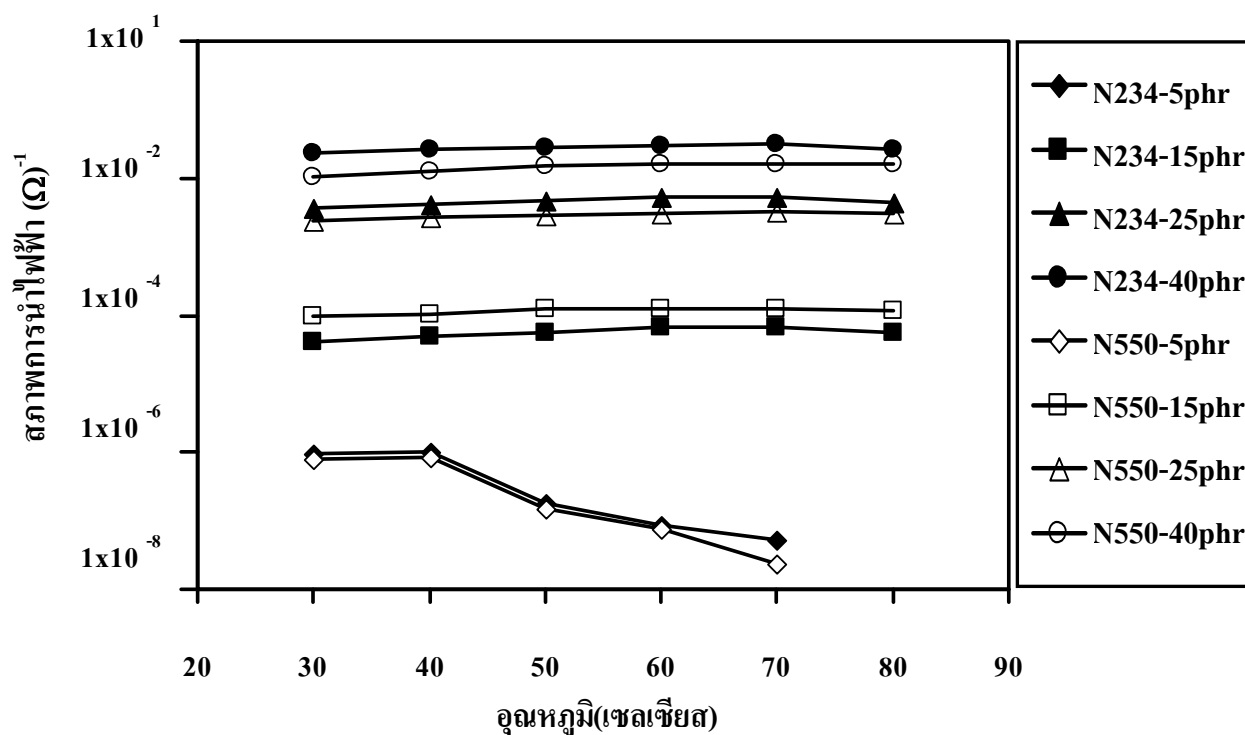


รูปที่ 4.12 ผลของอุณหภูมิต่อสภาพการนำไฟฟ้า เปรียบเทียบตามโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ก ที่ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 15 phr

4.5.2 การตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้าตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก

รูปที่ 4.13 แสดงการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้า เปรียบเทียบตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก ที่เติมลงในวัสดุเชิงประกอบ โดยเลือกพิจารณาเฉพาะคาร์บอนแบล็ก, N234 และ N550 เนื่องจาก N234 แทนคาร์บอนแบล็กที่มีโครงสร้างสูง และ N550 ที่มีโครงสร้างต่ำพบว่า อุณหภูมิส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในลักษณะเป็นช่วงตามปริมาณคาร์บอนแบล็กคือ ที่คาร์บอนแบล็กตั้งแต่ 15 phr อุณหภูมิส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าเป็นไปตามรูป 4.13 คือการไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 30-60 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มลดลงที่อุณหภูมิมากกว่า 70 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อใช้คาร์บอนแบล็ก 5 phr อุณหภูมิส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในลักษณะเป็นช่วงคือที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส การนำไฟฟ้าจะสูงขึ้นเล็กน้อย และนั่นคือการลดลงของการนำไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียสสภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงซึ่งจะกล่าวต่อไป โดยจากรูปจะพบว่าที่คาร์บอนแบล็กตั้งแต่ 15 phr ขึ้นไปอุณหภูมิที่มีผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าของยางที่ผสมคาร์บอนแบล็ก แต่เมื่อเทียบกับการเปลี่ยนขนาดตามระยะยึดแล้วสภาพการนำ

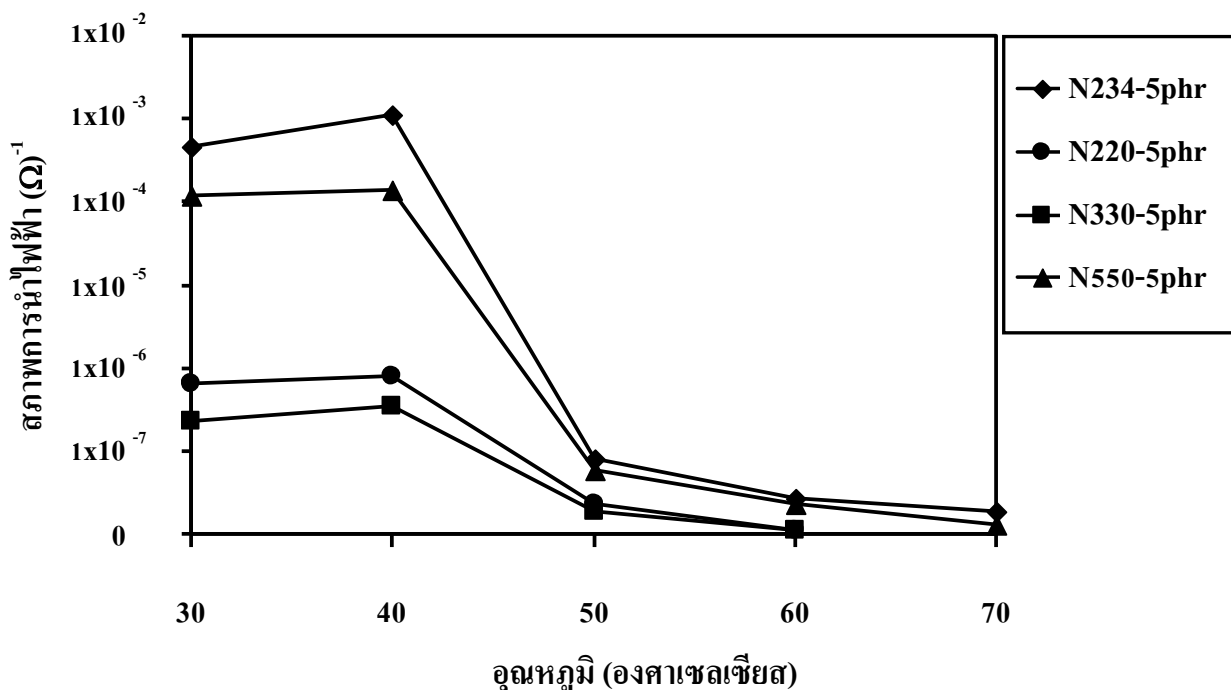
ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากแรงเชิงกลที่กระทำต่อชิ้นงานที่ทำให้เกิดการยืดตัวมีผลต่อการขยายตัวอย่างมากกว่าอุณหภูมิ ทำให้เกิดระยะห่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กมากกว่า การนำไฟฟ้าจึงลดลงมากกว่า การนำไฟฟ้าจึงขึ้นกับอุณหภูมิน้อยกว่าแรงเชิงกล



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีสภาพการนำไฟฟ้า โดยแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบตามปริมาณคาร์บอนแบล็ก

เนื่องจากการพิจารณาผลของคาร์บอนแบล็กที่ 5 phr ในรูปที่ 4.13 พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการปรับปรุงของสภาพการนำไฟฟ้า ดังนั้น จึงได้พิจารณาชนิดของคาร์บอนแบล็กเพื่อให้ครอบคลุมทั้งขนาดอนุภาคและโครงสร้าง โดยพิจารณา N220 N234 N330 และ N550 เป็นตัวแทนของตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งสามารถแสดงผลของการทดลองได้ใน รูปที่ 4.14 แสดงการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้า เปรียบเทียบที่ ปริมาณคาร์บอนแบล็ก 5 phr จากรูป อุณหภูมิส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าในลักษณะเป็นช่วงคือ ที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส สภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และที่อุณหภูมิมากกว่า 40 องศาเซลเซียส สภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจนเข้าใกล้ค่าหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงอุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียสการนำไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 4.14 คือการขยายตัวมีค่าน้อยกว่าพลังกระตุ้นจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส สภาพการนำไฟฟ้าลดลงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิจะส่งผลต่อการขยายตัวของยางธรรมชาติมากขึ้น ทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคคาร์บอนแบล็กในยางที่ขยายตัวมีมากขึ้น การนำไฟฟ้าจึงลดลง แต่จะเข้าใกล้ค่าหนึ่งเนื่องจากอิทธิพลการขยายตัวของ

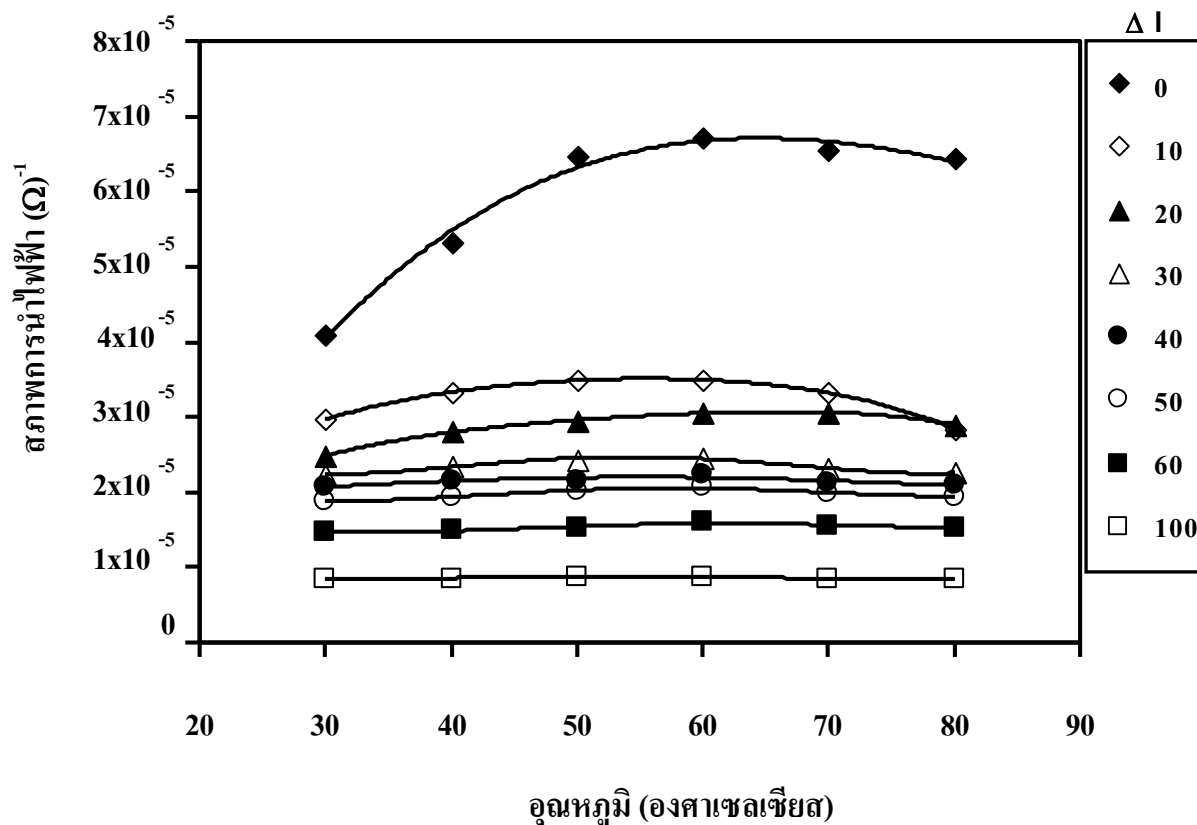
ยางธรรมชาติจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีค่าไม่มากจากการต้านทานการดึงของยางเองเมื่อเทียบกับการขยายตัวจากแรงเชิงกลเกิดการยืดตัว



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีสภาพการนำไฟฟ้า โดยแสดงความสัมพันธ์เปรียบเทียบที่คาร์บอนแบล็ก 5 phr

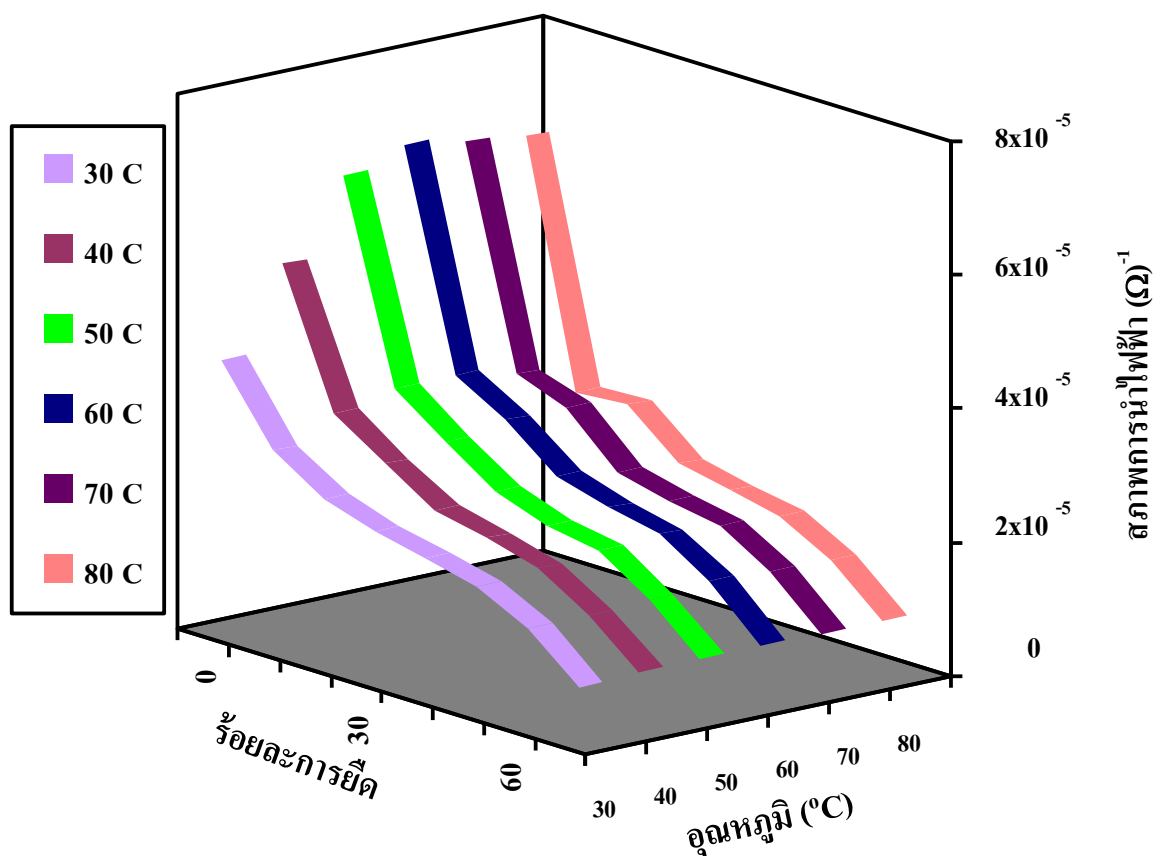
4.5.3 การตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้าตามระยะการดึงยืด

รูปที่ 4.15 แสดงผลของอุณหภูมิต่อสภาพการนำไฟฟ้าของที่ระยะการดึงยืด (Δl) ต่างๆในกรณีของคาร์บอนแบล็ก N234 ปริมาณ 15 phr พบว่าเมื่อระยะการยืดเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าลดลงเมื่อเทียบกับยางที่ไม่มีการดึงยืด ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มระยะการยืดโดยแรงเชิงกลจะทำให้อนุภาคเคลื่อนตัวห่างจากกันมากขึ้นโดยในแต่ละระยะการดึงยืดจะทำให้การนำไฟฟ้าลดลงและเมื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่มีต่อแต่ละระยะการดึงยืดพบว่า เมื่อเพิ่มระยะการดึงยืดมากขึ้นนอกจากระยะห่างระหว่างอนุภาคมากขึ้นแล้วยังเกิดความเครียดมากขึ้นในแต่ละชิ้นงานตามระยะการดึงยืดที่มากขึ้น อุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ส่งผลต่อการขยายตัวจึงมีผลน้อยกว่าการยืดตัวจากแรงเชิงกล จึงทำให้เมื่อระยะการยืดตัวมากขึ้นอุณหภูมิจะส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าน้อยลง



รูปที่ 4.15 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของที่ระยะการดิ่งยึดต่างๆในกรณี ของคาร์บอนแบล็ก N234 ปริมาณ 15 phr

รูปที่ 4.16 แสดงการตอบสนองต่ออุณหภูมิของสภาพการนำไฟฟ้าของที่ระยะการดิ่งยึด ของคาร์บอนแบล็ก N234 ปริมาณ 15 phr แสดงในลักษณะสามมิติ จากรูปพบว่าที่ระยะการดิ่งยึดต่ำๆ อุณหภูมิจะส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าได้สูงกว่าที่สภาพการดิ่งยึดสูงๆ ซึ่งเป็นไปตามรูปที่ 4.15 โดยในช่วงการดิ่งยึดต่ำ อุณหภูมิที่สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพการนำไฟฟ้ามากกว่าในช่วงการดิ่งยึดสูง แสดงได้จากค่าความชันของกราฟแต่ละอุณหภูมิ เมื่อการดิ่งยึดสูงขึ้นความชันที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้ามีค่าลดลงในทุกอุณหภูมิซึ่งแสดงว่าผลของอุณหภูมิจะส่งผลต่อสภาพการนำไฟฟ้าลดลงเมื่อมีการดิ่งยึดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 4.16 กราฟ 3 มิติ แสดงผลของอุณหภูมิที่มีต่อสภาพการนำไฟฟ้าของที่ระยะการดั่งยัด ของ คาร์บอนแบล็ก N234 ปริมาณ 15 phr