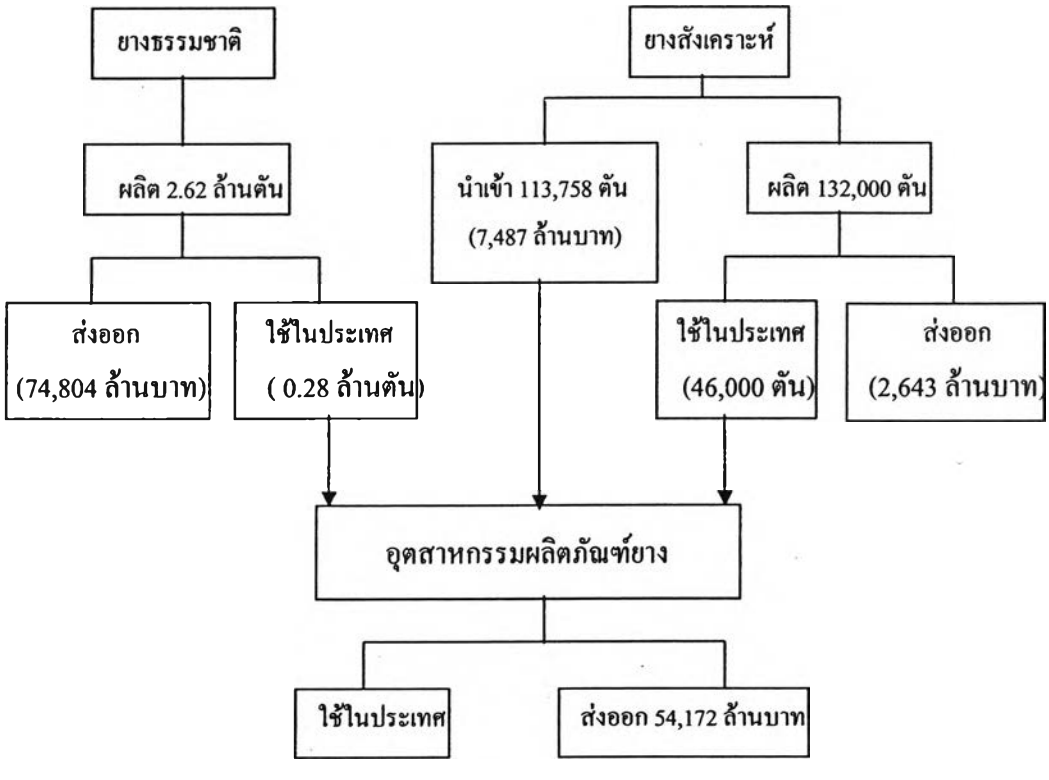
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ (*Hevea brasiliensis*) ซึ่งเป็นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากลุ่มแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล ซึ่งต่อมาเป็นพืชเศรษฐกิจ ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปัจจุบัน ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลกโดยในปี พ.ศ.2545 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตประมาณ 2.62 ล้านตันและมีการส่งออกในรูปของยางดิบประมาณ 2.35 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออก 74,604 ล้านบาท (สถาบันวิจัยยาง, 2545) จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามีการนำยางธรรมชาติไปแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าเพียงแค่ประมาณร้อยละ 10 เท่านั้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางดิบสามารถทำรายได้ให้ประเทศจากการส่งออกสูงถึง 54,172 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 72.6 ของการส่งออกยางดิบ ดังนั้นอุตสาหกรรมการแปรรูปยางดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์นั้นมีความสำคัญอย่างมาก ประเทศไทยจึงควรเร่งพัฒนาและสนับสนุนอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางให้ขยายใหญ่ขึ้น

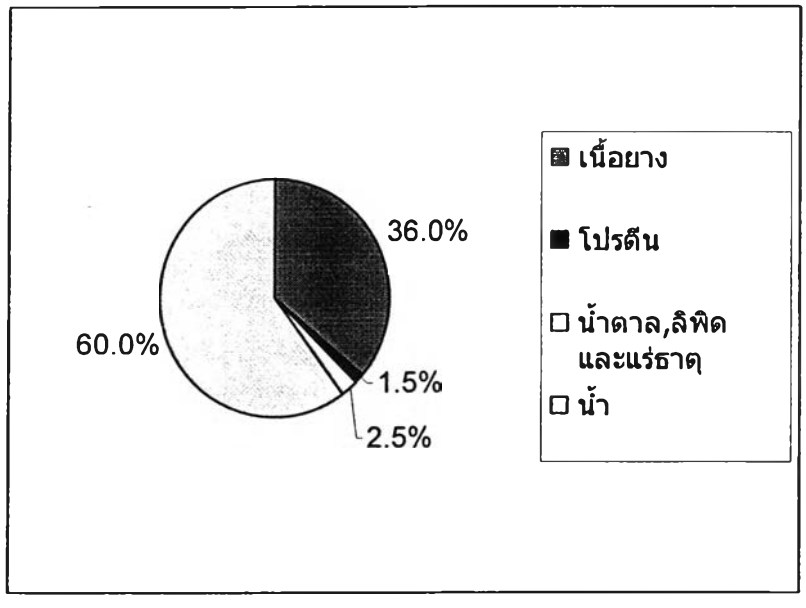


รูปที่ 2.1 แผนผังโครงสร้างของอุตสาหกรรมยางของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2545
(พงษ์ธร แซ่อุย, 2537)

2.2 น้ำยางธรรมชาติ

2.2.1 องค์ประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดที่ได้มาจากการกรีดต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนม มีสภาพเป็นคอลลอยด์หรือสารแขวนลอย มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.908 ถึง 0.975 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 6.5 ถึง 7.0 น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อกรีดมาจากต้นยางมีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ 36 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 1.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล,ลิพิดและแร่ธาตุรวมกัน 2.5 เปอร์เซ็นต์ และน้ำอีก 60 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

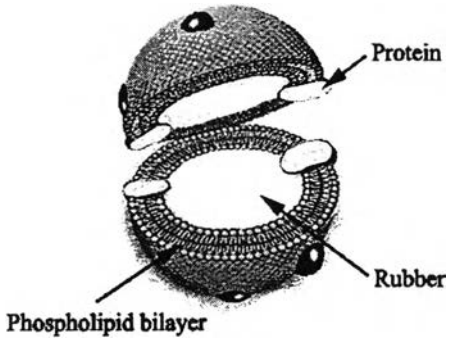


รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบในน้ำยางพารา

2.2.2 ส่วนอนุภาคยาง

ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลม มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาก คือ อยู่ระหว่าง 0.04 ไมครอน จนถึง 4 ไมครอน อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดเกิน 0.4 ไมครอน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน (รูปที่ 2.3) อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมัน และโปรตีน (Jacob และคณะ, 1992) โดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอกและมีโลหะบางชนิดเช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ โดยส่วนที่เป็นอนุภาคยางจะเป็นชั้นแขวนลอยกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อาจเรียกตัวกลางที่เป็นน้ำนี้ว่าเซรั่ม น้ำยางจัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ประเภท hydrosol คืออนุภาคยางที่เป็นชั้นแขวนลอยจะเป็นของแข็งกระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายหรือตัวกลางที่เป็นของเหลว (กุลทิวา รัตนเวศินรักษ์, 2539) ในส่วนของอนุภาคยางประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ คือ

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 สมมติฐานลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ (Jacob และคณะ 1992)

ก. <u>ส่วนที่เป็นยาง</u> ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์จำพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่าไอโซพรีน (*cis* –1,4 polyisoprene) หน่วยย่อยของไอโซพรีน (C_6H_8) หลายๆ หน่วย มาประกอบกันเป็นโครงสร้างหลัก เรียกว่า cis-unit และมี trans-units 2-3 หน่วย ต่อ 1 สายพอลิเมอร์ (Tanaka, 1989) ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 โดย n คือจำนวนโมโนเมอร์ในสายพอลิเมอร์ของยาง จากสูตรโครงสร้างของไอโซพรีนจะเห็นว่ามีพันธะอยู่ที่ตำแหน่งระหว่างคาร์บอน1,2 และ 3,4 ดังนั้นการเชื่อมหน่วยย่อยเข้าด้วยกันในกระบวนการโพลิเมอร์ไรเซชั่นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งคาร์บอน 1,4 หรือ 1,2 หรือ 1,3 แต่ในยางธรรมชาติจะพบการต่อหน่วยย่อยแบบ 1,4 มากที่สุดถึง 99 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติคือ *cis* –1,4 polyisoprene การต่อหน่วยย่อยเข้าด้วยกันที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1,4 จะมีรูปร่างภายนอกแบ่งเป็นสองแบบคือ *cis* – 1,4 และ *trans* – 1,4 โดยทั้งคู่จะเป็นไอโซเมอร์ (isomer) กัน แต่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน และที่ปลายสายไอโซพรีนมีไพโรฟอสเฟต (pyrophosphate) ซึ่งคาดว่าไพโรฟอสเฟตจะเป็นจุดเชื่อมระหว่างปลายสายไอโซพรีนข้างหนึ่งกับโอลิโกเปปไทด์ และอีกข้างหนึ่งกับฟอสโฟลิปิด

ข. <u>โปรตีน</u> ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง มีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในชั้นน้ำและอีก 25 เปอร์เซ็นต์จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ ส่วนนอกสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคยางส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดแอลฟากลอบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่ละลายในกรด ด่างและเกลือ มีค่า Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะมารวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH เท่ากับ pI ของแอลฟาก๊อบบูลิน ส่วนโปรตีนซึ่งอยู่ในส่วนห่อหุ้มอนุภาคยางเป็นโปรตีนพวกฮีวีนสามารถละลายในน้ำได้ มีค่า Isoelectric point เท่ากับ 4.5

จะป้องกันอนุภาคยางมารวมตัวกัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำเช่น การเติมแอลกอฮอล์ หรือกรดอะซิติก อนุภาคยางจะรวมตัวกันเป็นก้อน เรียกว่า "Coagulum" แยกตัวออกจากส่วนของเซรั่ม

ค.ไขมัน(lipid) ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟลิปิด ซึ่งเชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง น้ำยางในสภาวะที่เป็นด่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6 % ขึ้นไป) ฟอสโฟลิปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันโมเลกุลยาว (Long chain fatty acid) ซึ่งจะรวมกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2531)

2.2.3. ส่วนที่ไม่ใช่อนุภาคยาง หากนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง ประมาณ 14,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกน้ำยางออกได้ 4 ส่วน (รูปที่ 2.5) เรียงจากบนถึงด้านล่างของภาชนะ ดังนี้ ส่วนของเนื้อยาง, อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง, เซรั่ม และ ตะกอนสีเหลืองหรือขาวซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวก ลูทอยด์ (Moir, 1959) องค์ประกอบส่วนอื่นที่ไม่ใช่เนื้อยางมีดังนี้

ก. <u>ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรั่ม (serum)</u> มักจะมีสีใสปนเหลือง เป็นฟองง่าย ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2543) คือ

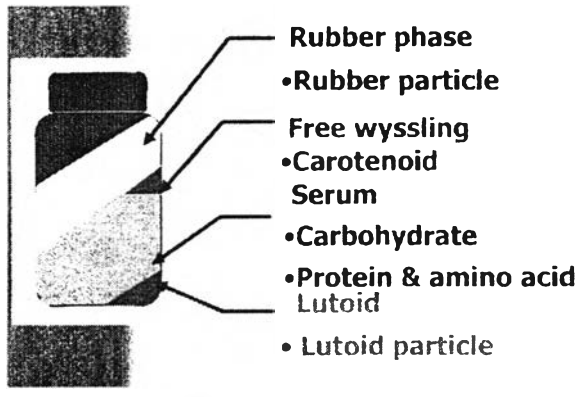
(1) คาร์โบไฮเดรต เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในยาง 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็กๆ (short chain fatty acid) ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน

(2) โปรตีนและกรดอะมิโน โปรตีนและกรดอะมิโนส่วนใหญ่ที่อยู่ในเซรั่มของน้ำยางมีค่า Isoelectric point หลายค่า โปรตีนที่มีค่า Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพ

ข. <u>ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ</u> (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2546)

(1) ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลมอยู่ส่วนชั้นล่างสุด เป็นตะกอนสีเหลือง น้ำตาลคล้ำหรือขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนักเช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัสและขี้เถ้า ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในมีทั้งสารที่แขวนลอย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน นอกจากนี้ยังมีสารพวกฟอสโฟลิปิด และมีสารพอลิฟีนอลอ๊อกซิเดสซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

(2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง (frey-wyssling) เป็นส่วนที่ติดอยู่กับเนื้อยาง อนุภาคกลมเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง อนุภาคของเฟรย์-วิสลิ่งมักปนอยู่ระหว่างชั้นของอนุภาคยางและส่วนที่ของเซรั่ม เวลาปั่นที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 14,000 รอบต่อนาที มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายางและความหนาแน่นมากกว่า มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้มสามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรั่ม

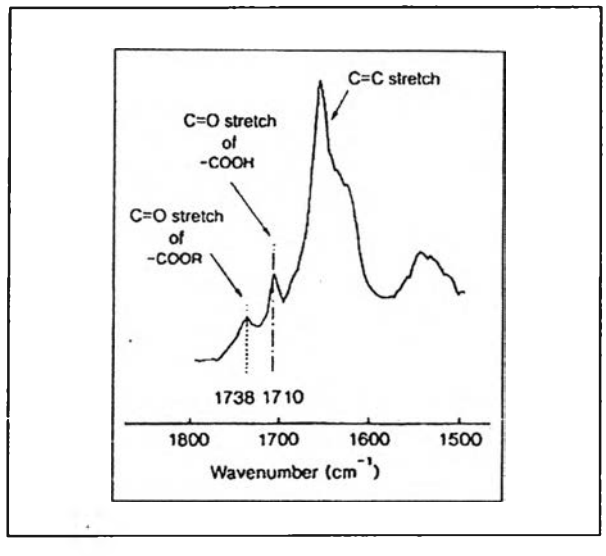


รูปที่ 2.4 การแยกส่วนประกอบของน้ำยางซึ่งปั่นด้วยความเร็ว 14,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

2.3 การศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติ

2.3.1 องค์ประกอบของยางธรรมชาติเมื่อศึกษาด้วยเทคนิค FTIR

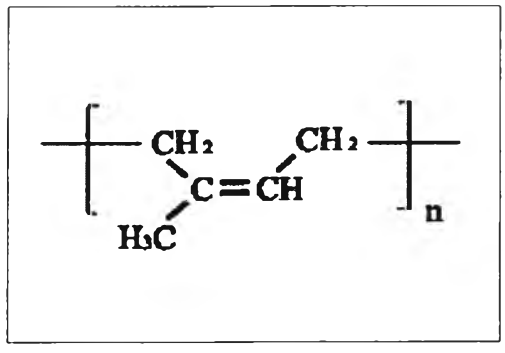
เทคนิค FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบอื่นที่ปะปนมาในเนื้อยางแห้ง โดยที่พีค N-H stretching ที่เลขความยาวคลื่น 3280 ซม.$^{-1}$ บ่งบอกถึงปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อยาง ในขณะที่เลขความยาวคลื่น 1738 ซม.$^{-1}$ บ่งบอกถึงปริมาณเอสเทอร์ หรือเอสเทอร์พีค และที่เลขความยาวคลื่น 1664 ซม.$^{-1}$ บ่งบอกได้ถึงปริมาณพอลิไอโซพรีนหรือ พอลิไอโซพรีนพีค (Aik-Hwee และคณะ, 1994) (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 FTIR สเปกตรัม ของยางธรรมชาติ (Aik-Hwee และคณะ, 1994)

โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่

อุณหภูมิ 20 °C และและมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature,Tg) ประมาณ -72 °C นั่นหมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72 °C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของโพลิไอโซพรีน

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่อัลฟาเมทธิลีน ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถันอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตาม พันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนคลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง(ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า "Low temperature crystallization" จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ -26°C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่น ๆ ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ ประเทศในเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิ 50-70°C เพื่อทำให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า "strain-induced crystallization" จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนสภาพโปร่งแสง ไปเป็นทึบแสง ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น

2.4 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ (พงษ์ธร แซ่อุย,2537)

ความยืดหยุ่น (elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

ความเหนียวติดกัน (tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วน ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

ความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง จึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมาก โดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้ามาช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีความความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูง การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยให้ความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

สมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความด้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

ความต้านทานต่อการขัดถู (ahrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังด้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistivity) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} ohm.cm

ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมตัวในตัวทำละลาย

เหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ดี การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายไม่มีขั้วต่าง ๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรืออัลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริคและกรดกำมะถันเข้มข้น

การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่าปฏิกิริยาออกซิเดชั่น) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนาน ๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิว ในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ(anti-degradants) และไข (wax)) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางซิลิโคน (Q)

Compression set ยางธรรมชาติมีค่า compression set ที่ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่า compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ compression set ด้อยลง

การกระเด้งกระดอน (rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระเด้งกระดอนสูง (สูงกว่ายางชนิดอื่น ๆ ทั้งหมด ยกเว้นยาง BR) และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย (มี hysteresis ต่ำ) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำ เมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต ยางชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุกหรือยางล้อเครื่องบิน เพราะหากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูง ก็อาจทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย

อุณหภูมิของการใช้งาน (service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55 ^{o}C จนถึง 70^{o}C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนาน ๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้น และสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ก็จะด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90^{o}C หรืออาจสูงถึง 100^{o}C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วง ๆ เท่านั้น)

2.4.1 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ

ชนิดของยางธรรมชาติ	ลักษณะ	การใช้งาน
น้ำยางข้น	เป็นของเหลว สามารถเติมสารเคมีเพื่อให้เหนียวและแข็งแรงมากขึ้น โดยไม่ต้องเติมสารเสริมความแข็งแรง (reinforcing filler)	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่นถุงมือ ลูกโป่ง ถุงยางอนามัย หัวนม สำหรับทารก ผลิตภัณฑ์ตีฟอง เช่น ที่นอน หมอน ตุ๊กตาฟองน้ำ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น ตุ๊กตายาง หุ่นการศึกษา เป็นต้น ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยืด (latex thread) ท่อยาง กาวยางน้ำ เป็นต้น
น้ำยาง PV (น้ำยางคงรูป)	เป็นของเหลวและมีสารเคมีที่ทำให้ยางคงรูปเป็นส่วนผสมหลัก สามารถนำไปขึ้นรูปได้ทันที สามารถปรับเพิ่มความทนทานให้กับผลิตภัณฑ์ โดยการเติมสารเคมีกันยางเสื่อมสภาพเพื่อเติมในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น เบ้าพิมพ์ใช้หล่อปูนปลาสเตอร์ ผลิตภัณฑ์เชื่อมเส้นใย
STR XL STR 5L ADS RSS1 pale crepe	เป็นยางที่สะอาด มีสีจางโดยเฉพาะยาง STR XL และ STR 5L ส่วน RSS นอกจากจะมีสีเข้มกว่าแล้ว ยังค่อนข้างแข็งมาก ค่าความหนืด (mooney viscosity) สูง ไม่ค่อยเหมาะสมในงานผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสี	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เภสัชกรรม การสัมผัสอาหาร ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสีสัน เส้นด้ายยางยืด (cut threads) กาวยางเทปติดพื้นรองเท้าและส่วนประกอบของรองเท้า เป็นต้น
STR 20 RSS 2,3,4,5	เป็นยางสีคล้ำ มักใช้กับงานที่ผสมกับสารตัวเติมที่มีสีเข้ม เช่น พวกเขม่าดำ โดยเฉพาะยางแผ่นรมควัน RSS 4 และ 5 จะมีคุณภาพต่ำ จึงมักใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ	ยางรถยนต์ ยางหล่อดอก ยางอะไหล่ ยางที่ใช้ในงานวิศวกรรมและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เป็นต้น

ชนิดของยางธรรมชาติ	ลักษณะ	การใช้งาน
ยางสกิม (Skim rubber)	เป็นยางสกิมในรูปบล็อคหรือเครพมีสีหลากหลายขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ถ้าผลิตจากหางน้ำยางใหม่จะได้ยางสกิมสีจาง ถ้าผลิตจากหางน้ำยางที่เก่าจะได้ยางสกิมสีคล้ำเนื่องจากยางสกิมมีส่วนของ non-rubber สูงจึงสามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็ว	ใช้ยางผสมกับยางคุณภาพสูงเพื่อลดต้นทุน เนื่องจากยางสกิมที่มีสีอ่อน(ยางสกิมที่มีคุณภาพดี) สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางสีจาง หรือยางที่ต้องการเติมสี ส่วนยางสกิมที่มีสีเข้มกว่า มักใช้ผลิตผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำเช่นยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น ยางกันกระแทกเป็นต้น
STR 5CV, 10CV, 20CV	เป็นยางที่มีความหนืดคงที่ (constant viscosity, CV) ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงบ้างตามข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐานยาง CV ดังนั้นจึงดีกว่ายางทั่วไปที่มีค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เก็บรักษายาง	ใช้งานเช่นเดียวกับยางแท่งและยางแผ่นรมควัน แต่ได้เปรียบตรงที่มีความสะดวกในการควบคุมการบดผสมกับสารเคมี ประหยัดพลังงานและเวลาในการบดผสม

2.5 ปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ เป็นการดัดแปลงโมเลกุลยางธรรมชาติ โดยทำปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน ซึ่งสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ในรูปแบบสารละลาย โดยใช้กรดเพอร์เบนโซอิก (Perbenzoic acid) กรดเพอร์พะทาลิก (Perpthalic acid) หรือสารละลายผสมของไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์กับกรดอะซิติกที่มีกรดพาราโทลูอีนซัลโฟนิกเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น แต่การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในรูปแบบของน้ำยาง (Latex) จะมีความสะดวกกว่า จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยม โดยทั่วไปจะใช้เพอร์แอซิดเป็นสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน เนื่องจากการใช้กรดเพอร์แอซิดจะให้ปริมาณหมู่อิพอกไซด์ค่อนข้างสูงภายใต้สภาวะของการทำปฏิกิริยาและปริมาณสารเคมีที่เหมาะสม นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงซึ่งเป็นผลมาจากการเปิดวงแหวนอิพอกไซด์ค่อนข้างน้อย เพอร์แอซิดที่ใช้ได้แก่กรดเพอร์อะซิติกและกรดเพอร์ฟอร์มิก ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่ได้จะมีลักษณะสีน้ำตาล ในปัจจุบันได้มีการผลิตยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในระดับอุตสาหกรรมในต่างประเทศ 2 รูปแบบ คือ ENR-25 และ ENR-50 ซึ่งหมายถึงยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ 25 และ 50 โมลเปอร์เซ็นต์อิพอกไซด์ตามลำดับ สมบัติของยางธรรมชาติอิพอกไซด์จะขึ้นกับปริมาณหมู่อิพอกไซด์และปฏิกิริยาข้างเคียงเป็นอย่างมาก (Nakason et al., 2001) สมบัติที่

สำคัญของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ คือ ยางธรรมชาติอิพอกไซด์มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางมีความเป็นขั้วมากขึ้น สามารถทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยได้เช่นเดียวกับยางไนไตรล์ นอกจากนั้นยังสามารถทนทานต่อโอโซนและการซึมผ่านของอากาศได้ดีใกล้เคียงกับยางบิวไทล์ เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง และมีหมู่อิพอกไซด์เกิดขึ้นแทนที่พันธะคู่ ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น สารอิพอกซิไดซ์ที่สำคัญในการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกไซด์

2.5.1 สารเคมีในกลุ่ม peroxide และ hydroperoxide เช่น benzoyl peroxide และ t-butyl hydroperoxide ใช้เป็นสารอิพอกซิไดซ์ของพอลิไอโซพรีน (polyisoprene) และยางบิวทาไดอีน เป็นต้น

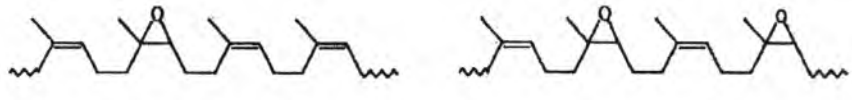
2.5.2 สารเคมีกลุ่ม peracid เป็นสารอิพอกซิไดซ์ที่มีประสิทธิภาพสูง มักจะใช้เป็นสารอิพอกซิไดซ์ของยางไดอีน (diene rubber) ในสภาวะน้ำยางและสภาวะสารละลาย เช่นใช้ peroxybenzoic acid เป็นสารอิพอกซิไดซ์ของยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีน เป็นต้น

2.5.3 กลุ่ม peracid ที่เตรียมจากสารผสมเพอร์ออกไซด์กับกรดพร้อม ๆ กัน (In situ generated peracids) ใช้ hydrogen peroxide ผสมกับ carboxylic acid เป็นสารอิพอกซิไดซ์ ในขณะที่ทำการเตรียมยางอิพอกไซด์ของยางธรรมชาติ เช่น

2.5.3.1 peracid เตรียมจากกรดอะซิติกผสมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ผลิตผลจากปฏิกิริยาของกรดอะซิติกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ peracetic acid ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชั่นในยางธรรมชาติที่อุณหภูมิสูงกว่า 40°C

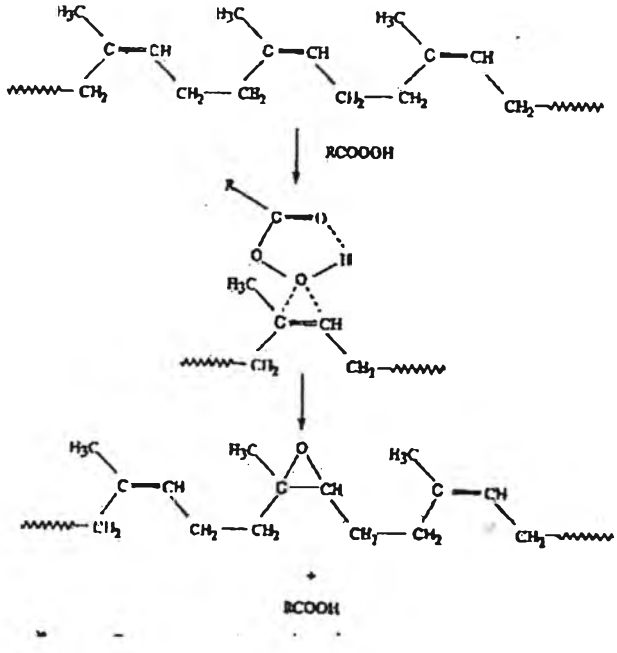
2.5.3.2 peracid ที่เตรียมจากกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ performic acid ซึ่งมักจะใช้เป็นสารอิพอกซิไดซ์พอลิไดอีนอิลาสโตเมอร์ หรือยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 80°C

โดยมีระดับของการเกิดอิพอกซิเดชั่นตั้งแต่ 10-50% ยาง ENR ที่ได้จึงมีความเป็นขั้วสูงกว่ายางธรรมชาติทั่วไป ยางจึงทนต่อความร้อนและน้ำมันได้ดีขึ้น ในปัจจุบันได้มีการผลิตยางธรรมชาติอิพอกไซด์ในระดับอุตสาหกรรมในต่างประเทศ 2 รูปแบบคือ ENR-25 และ ENR-50 คือยางธรรมชาติอิพอกไซด์ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์ 25 และ 50 โมล % อิพอกไซด์ตามลำดับ



ENR-25 ENR-50

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของธรรมชาติอิพอกไซด์ 25 % และ 50% โมล

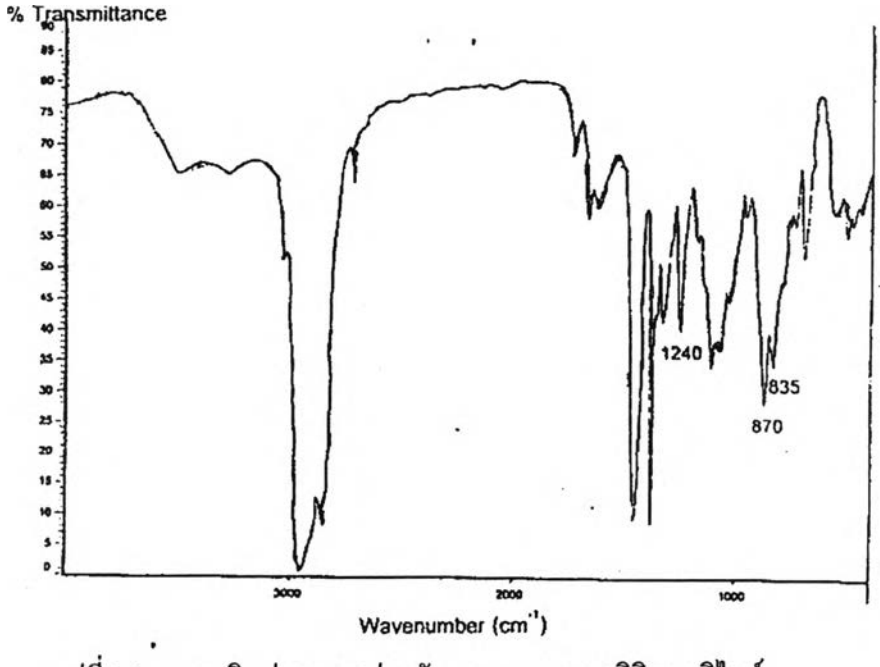


รูปที่ 2.8 แสดงกลไกการเกิดวงแหวนอิพอกไซด์บนยางธรรมชาติด้วยกรดเพอร์ฟอร์มิก

2.6 การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โมลอิพอกไซด์

ในการหาเปอร์เซ็นต์โมลอิพอกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

2.6.1 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิค FT-IR

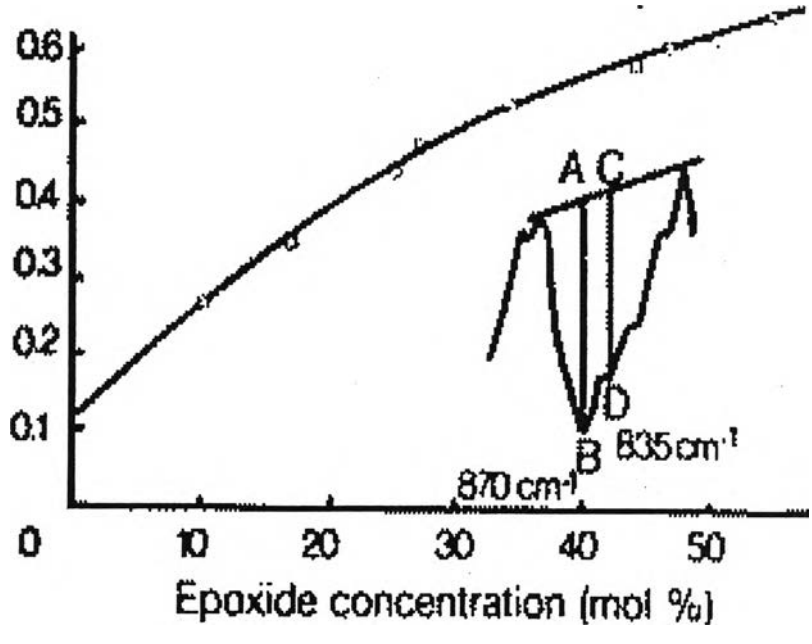


รูปที่ 2.9 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติอิพอกซิไดส์

จากสเปคตรัมอินฟราเรด รูปที่ 2.9 สามารถนำไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การเกิดหมู่อิพอกไซด์ (%epoxidation) โดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงอินฟราเรด ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} (แสดงถึงการมีหมู่อิพอกไซด์) และ 835 cm^{-1} (แสดงถึง =C-H ของ cis-1,4-polyisoprene) คำนวณหาค่า absorbance ratio (Ar) เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในหน่วยโมลเปอร์เซ็นต์ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

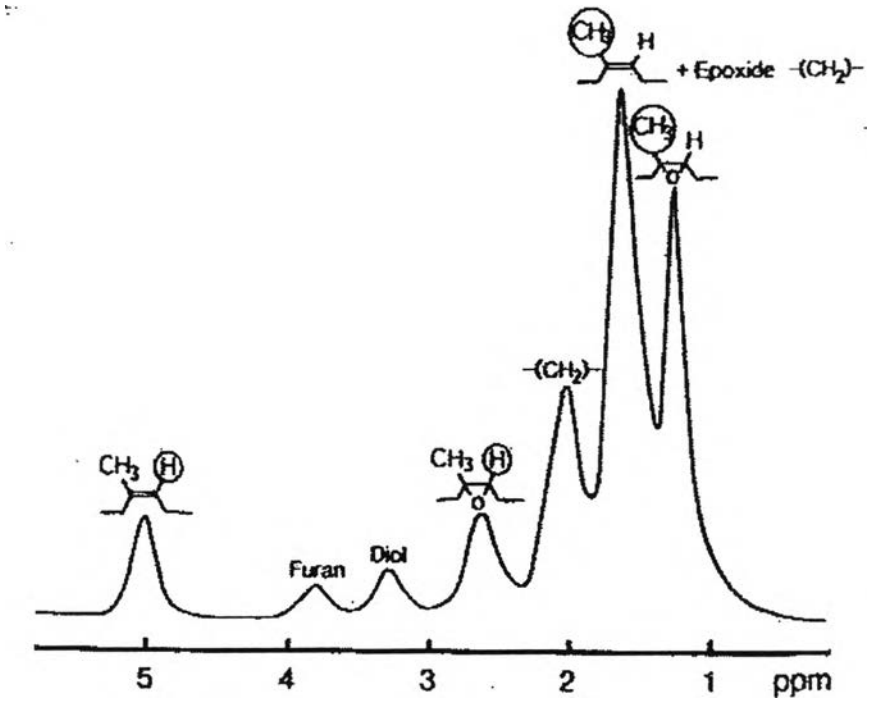
$$Ar = a_{870} / (a_{870} + a_{835})$$

จากค่า Ar ที่คำนวณได้นำไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานปริมาณหมู่อิพอกไซด์ของยางธรรมชาติอิพอกไซด์ จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี ได้จากผลงานการวิจัยของ Dauevey and Loadmman(1984) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงกราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์หาปริมาณหมู่อิพอกไซด์ในโมเลกุลยางธรรมชาติ

2.6.2 วิเคราะห์โดยใช้สเปกตรัม ^{1}H-NMR

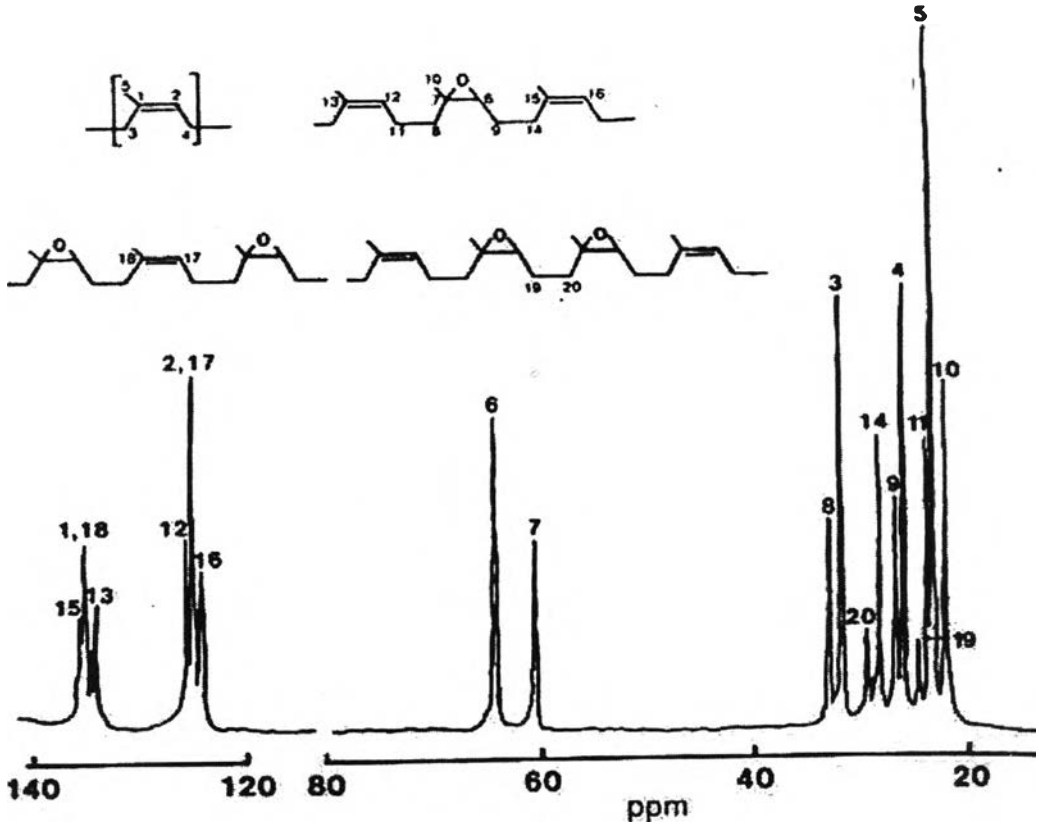


รูปที่ 2.11 แสดงสเปกตรัม ^{1}H-NMR ของยางธรรมชาติอิพอกซิไดส์

ผลของสเปกตรัมที่ได้นำมาคำนวณหาปริมาณหมู่อิพอกไซด์ โดยใช้สูตร

$$X_{epoxy} = I_{2.7} / (I_{2.7} + I_{5.1}) \times 100$$

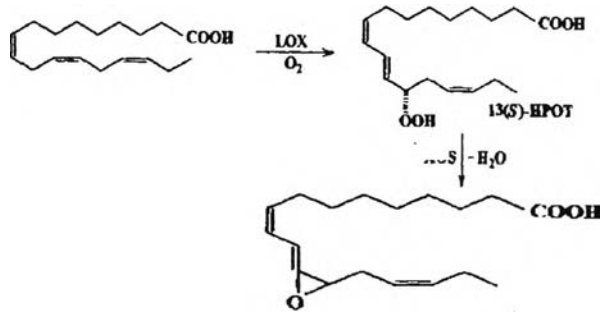
เมื่อ X_{epoxy} คือ โมลเปอร์เซ็นต์ของหมู่อิพอกไซด์ , $I_{2.7}$ คือ ความเข้มของสัญญาณที่ค่าเคมิคอลชิพ 2.7 (แสดงถึงโปรตอนที่ติดกับหมู่อิพอกไซด์) และ $I_{5.1}$ คือ ความเข้มของสัญญาณที่ค่าเคมิคอลชิพ 5.1 (แสดงถึง =C-H ของ cis-1,4-polyisoprene)



รูปที่ 2.12 แสดงสเปกตรัมสเปกตรัม ^{13}C-NMR ของยางธรรมชาติอิพอกซิไดส์

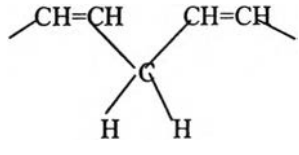
เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาการผลิตยางอิพอกไซด์โดยใช้สารเคมี โดยเฉพาะพวกเปอร์แอซิด ซึ่งเป็นกรดที่ค่อนข้างแรง เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่จำเพาะเจาะจง และยังไม่มีการศึกษาถึงกลไกการปฏิกิริยาที่แน่นอนยังบอกไม่ได้ว่าการอิพอกไซด์ที่ตำแหน่งพันธะคู่ใดบ้าง ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ในการใช้เพอร์แอซิดอาจทำให้มีการตกค้างของกรดซึ่งอาจจะส่งผลถึงคุณสมบัติบางประการของยางอิพอกไซด์ ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการเตรียมยางธรรมชาติอิพอกซิไดส์โดยใช้เอนไซม์ซึ่งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันมีหลายตัวด้วยกัน เช่น ในกลุ่มของ haloperoxidase คือ chloperoxidase bromoperoxidase และLipoxygenase แต่เอนไซม์ chloperoxidase และ bromoperoxidase จะทำงานในสภาวะเป็นกรดไม่เหมาะสมในการนำมาใช้เพราะยางธรรมชาติมี pH ประมาณ 8-10 ส่วนเอนไซม์ Lipoxygenase จะทำงานที่ pH 9 ซึ่งเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เอนไซม์ Lipoxygenaseหรือ epoxygenase เป็นเอนไซม์ที่พบได้โดยทั่วไปในเซลล์ยูคาริโอต เป็นเอนไซม์ในกลุ่ม Oxidoreductase เป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่มี *cis,cis*-1,4-pentadiene อยู่ในโครงสร้างของโมเลกุล และจะเปลี่ยนเป็น hydroperoxide ซึ่งจะ

สามารถเกิดปฏิกิริยาต่อเป็น กรดไฮดรอกซีและคีโต α- และ γ-ketols ไดไวนิลอีเธอร์ อิพอกซิแอลกอฮอล์ และ allylic epoxide อื่นๆ (Hamberg et al., 1990)



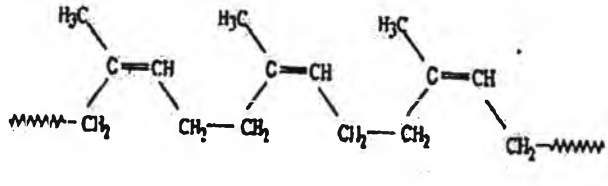
รูปที่ 2.13 แสดงการเกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันโดยใช้เอนไซม์ lipoxygenase (LOX) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ทำให้คาดว่าจะสามารถเติมออกซิเจนให้กับโมเลกุลยางธรรมชาติได้เนื่องจากยางธรรมชาติมีโครงสร้างเป็นแบบ*cis*-1,4-polyisoprene ที่คล้ายกับ *cis,cis*-1,4-pentadiene ดังรูป



cis,cis-1,4-pentadiene

รูปที่ 2.14 แสดงโครงสร้างของ *cis,cis*-1,4-pentadieneของกรดไขมันไม่อิ่มตัว



รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างของ และ *cis*-1,4-polyisoprene ของโมเลกุลของยางธรรมชาติ

2.7 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีการค้นพบว่า มีการใช้แบตเตอรี่ตั้งแต่สมัย บาบิโลเนียน เมื่อประมาณ 500 ปีก่อนคริสศักราช แต่แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบันเป็นการค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์เมื่อ 200 ปีที่แล้ว ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกว่า "ถ่าน" มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ
2. แบตเตอรี่ทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ ๆ เป็นต้น
3. แบตเตอรี่เชิงกล เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วนำกลับมาชาร์จประจุใหม่ได้ โดยการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งทำให้มีการชาร์จประจุอย่างรวดเร็ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดอลูมิเนียม-อากาศ
4. แบตเตอรี่ผสม เป็นแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ โดยขั้วอิเล็กโทรดข้างหนึ่งเป็นก๊าซและอีกข้างหนึ่งเป็นขั้วของตัวมันเอง เช่น แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน

ปัจจุบันนิยมใช้งานทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ที่มีคราบเป็นพิษ และมีผลเสียต่อสภาพแวดล้อม แบตเตอรี่ที่เข้ามาทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่วในอนาคตสามารถแบ่งออกเป็น 5 ชนิด ด้วยกันคือ SLA (Sealed Lead Acid), NI-Cd (Nickel Cadmiun), NI-MH (Nickel Metal Hydride), LI-ion (Lithium Ion) และ Li-Polymer (Lithium Polymer) แต่ละประเภทมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 SLA (Sealed Lead Acid) หรือ ซีล ลีด เอซิด เริ่มค้นการพัฒนาประมาณปี 1859 เป็นแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ที่มีความจุสูง นิยมใช้งานในอุปกรณ์ที่มีกำลังสูง ๆ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ แบบกระเป๋าหิ้ว กล้องถ่ายวีดีโอขนาดใหญ่ อุปกรณ์สำรองกระแสไฟฟ้า UPS และอุปกรณ์ประเภทไฟฟ้าฉุกเฉิน ซึ่งขนาดความจุที่ใช้ ในอุปกรณ์ประเภทนี้มีขนาดสูง ตั้งแต่ 1 amp - 30 amp และบางทีก็สูงถึง 50 amp - 200 amp เมื่อใช้ในอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไปอีก แบตเตอรี่ประเภทนี้จะมีอัตราการคลายประจุในตัวเองค่อนข้างต่ำ บางครั้งนานถึง 1 ปี และไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก ในการชาร์จหรือประจุไฟนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องการการชาร์จแบบช้า ประมาณ 8-16 ชั่วโมง หรืออาจจะต้องติดตั้งอยู่ใน

อุปกรณ์ชาร์จตลอดเวลา ซึ่งมีรอบในการ Charge/discharge (รอบในการใช้งาน)ประมาณ 200-500 รอบ

2.7.2 NI-Cd (Nickel Cadmiun) หรือ นิกเกิล แคทเมี่ยม แบตเตอรี่ชนิดนี้เริ่มมีใช้กันเมื่อปี 1899 ในขณะนั้นวัตถุดิบที่นำมาใช้มีราคาสูง ต่อมาในปี 1932 ได้มีการใช้วัตถุดิบชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า และมีการนำแผ่น Nickel มาไว้ภายในโดยมีชื่อทางเทคนิคว่า Porous nickel-plated electrode และปี 1987 Sealed NI-Cd ก็เกิดขึ้น ลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ขณะเวลาชาร์จจะมีแก๊สภายในแพร่กระจายออกมา ซึ่งจากความก้าวหน้านี้ ทำให้แบตเตอรี่ Sealed NI-Cd ที่มีความทันสมัยและมีการใช้มาจนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรกของบ้านเรา ก็นิยมใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้กันในหลายยี่ห้อ อีกทั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ถูกใช้ในอุปกรณ์ประเภทอื่น อีกมากมายไม่ว่าจะเป็นวิทยุ กล้อง และอุปกรณ์อื่นที่สามารถพกพาได้ ข้อดีของ NI-Cd นั้นมีหลายอย่างเช่น ลักษณะในการชาร์จง่ายและเร็ว จำนวนรอบในการใช้ Charge/discharge สูงมากกว่า 1,000 รอบ ขนาดมีให้เลือกมากมาย ง่ายต่อการจัดเก็บเนื่องจากมีขนาดที่เล็ก และราคาไม่แพง จนเกินไป ลักษณะการชาร์จ NI-Cd นั้นไม่ต้องการให้มีการชาร์จอยู่ตลอดเวลา ดังเช่นแบตเตอรี่ SLA เราจะชาร์จก็ต่อเมื่อ แบตเตอรี่คายประจุหมดแล้วเท่านั้น

2.7.3 NI-MH (Nickel Metal Hydride) หรือนิกเก้ล เมทัล ไฮไดร์ แบตเตอรี่ NI-MH มีการวิจัยเริ่มตั้งแต่ปี 70 แต่ผลที่ออกมายังไม่ดีและไม่เป็นที่ยอมรับ แต่ในปี 1980 ได้มีการพัฒนาอีกครั้ง ซึ่งผลที่ได้ทำให้แบตเตอรี่มีเสถียรภาพมากพอ และในเวลาต่อมาก็ได้มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของพลังงาน NI-MH จะมีความจุมากกว่า NI-Cd ในขนาดเดียวกันถึง 30-50% ส่วนโลหะก็เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก และปราศจาก สารประกอบที่เป็นอันตรายอย่างแคดเมี่ยมด้วย มีรอบในการ Charge/discharge ประมาณ 500 รอบการชาร์จของ NI-MH ควรมีการชาร์จแบบเร็วมากกว่าการชาร์จแบบช้า ในขณะที่แบตเตอรี่ชาร์จเต็ม อุณหภูมิในตัวของแบตเตอรี่อาจสูงขึ้น ซึ่งทำให้ตัวแบตเตอรี่ต้องมีวงจรป้องกันเพื่อสั่งให้มีการหยุดการชาร์จหากอุณหภูมิสูงขึ้น สำหรับการคายประจุแบตเตอรี่ NI-MH จะมีอัตราการคลายประจุน้อยกว่าแบตเตอรี่แบบ NI-Cd มากและไม่จำเป็นต้องทำการ discharge แบตเตอรี่เหมือน NI-Cd ในการชาร์จแต่ละครั้งจึงอยู่ที่ 2-3 ชั่วโมง แต่หากเป็นการใช้งานครั้งแรกควรชาร์จตั้งแต่ 16 ชั่วโมงเป็นต้นไปแต่ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

2.7.4 LI-ion (Lithium Ion) หรือ ลิเธี่ยม ไอออน แรกเริ่มเดิมที LI-ion ได้เกิดขึ้นในปี 1912 แต่ยังไม่สามารถใช้งานได้ จนมาปี 1970 การเริ่มต้นของแบตเตอรี่ LI-ion ได้เกิดขึ้นอีกครั้ง แต่ก็ยังเป็น LI-ion ที่ไม่สมบูรณ์แบบ คือ ไม่สามารถนำมาชาร์จใหม่ได้ กระทั่งปี 1980 LI-ion จึงสามารถชาร์จใหม่ได้ อย่างไรก็ตามผู้ใช้ยังต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งานสูงมาก เพราะโลหะที่นำมาใช้งานมีความสามารถ ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สูง ทำให้ขนาดของความจุสูงตามไปด้วย หาก

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เกิดการลัดวงจรอาจจะทำให้ระเบิดขึ้นมาได้ ในด้านพลังงานของ LI-ion นั้น แทบจะเรียกได้ว่าเป็น 2 เท่าของแบตเตอรี่แบบ NI-Cd เลย และการจ่ายกระแสก็สูงกว่า ในขณะที่ การคลายประจุของตัวเองมีน้อยมาก ลักษณะการชาร์จ การชาร์จของ แบตเตอรี่ LI-ion นั้นใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ต้องการการชาร์จแบบเป็นช่วงช่วงเพราะจะกลายเป็นการOver Charge และยิ่งทำให้อุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงขึ้นได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องการวงจรควบคุมในทุกด้านของการชาร์จ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงไม่ควรใช้งานอย่างที่เรียกว่าผิดรูปแบบ เพราะอาจทำให้เกิดอันตรายได้ ข้อดีคือขนาดที่เล็กลงมาก น้ำหนักเบา แต่ให้พลังงานสูงขึ้นมาก แต่ต่อมาหลังจากปี 2000 ราคาก็ได้ถูกลงกว่า 50 %

2.7.5 <u>Li-Polymer (Lithium Polymer) หรือ ลิเธี่ยม โพลีเมอร์</u> แบตเตอรี่ Lithium Polymer ออกสู่ตลาดในช่วงปี 2000 เป็นการออกแบบที่ให้ความสำคัญในเรื่องของ ความแข็งแรง ทนทาน ความปลอดภัย และต้นทุนเป็นหลัก แต่ในช่วงนั้นผลที่ออกมายังไม่เป็นที่น่าพอใจ เพราะเกิดการรั่วไหลของสารภายในทำให้เซลล์ เกิดการบวม อย่างไรก็ตามหลังจากที่ได้มีการพัฒนาอย่างเต็มที่ ผลลัพธ์ที่ได้ Li-Polymer สามารถให้ความเข้มแข็งของพลังงาน มากกว่า NI-Cd ถึงสามเท่าและมีการคลายประจุภายในตัวเองน้อยมาก ซ้ำยังมีความยืดหยุ่นในการที่จะออกแบบ บนข้อจำกัดของ พื้นที่ ในด้านของความจุ Li-Polymer มีขนาดความจุของกระแสในขณะที่มี Load (ตัวรับพลังงาน) จะน้อยกว่าแบตเตอรี่ LI-ion ส่วนรอบของอายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการออกแบบลักษณะการชาร์จ การชาร์จและการคลายประจุคล้ายกับแบตเตอรี่ชนิด SLA ซึ่งมีเวลาในการชาร์จ 8-16 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดความจุของกระแสไฟเป็นองค์ประกอบ

<u>ข้อดีของแบตเตอรี่ประเภทลิเทียมคือ</u>

น้ำหนักเบาความจุสูง ใช้เวลาในการชาร์จสั้นผลกระทบจาก Memory Effect น้อยมาก แทบจะไม่มีเลย ดังนั้น จึงเหมาะสำหรับการใช้งานกับมือถือรุ่นใหม่ๆเป็นอย่างมาก แต่ในประเภทของ Li-on ก็ยังมีผลเรื่องของการใช้งานอย่างหนึ่งคือ หากมีการดิสชาร์ท (การคายประจุแบตเตอรี่) หรือใช้แล้วปล่อยให้ไฟหมดจากตัวเซลของแบตเตอรี่แบบเกลี้ยงเลย อาจเสื่อมประสิทธิภาพได้ หรืออาจจำเป็นต้องกระตุ้นการชาร์จระยะหนึ่งก่อนที่จะกลับมาใช้งานปกติ เช่น เมื่อเราทิ้งเครื่องพร้อมแบตเตอรี่จนไฟหมด และไม่ได้ชาร์ท จนกระทั่งไฟหมดจากแบตเตอรี่ เมื่อเสียบสายชาร์ท ไฟอาจไม่สามารถชาร์ทได้ในทันที อาจต้องรอ 30-60 นาทีเพื่อกระตุ้นเซลแบตเตอรี่ให้กลับคืนสภาพก่อนการชาร์ทได้อีกครั้ง แต่ในแบตเตอรี่แบบ Li-Polymer ได้รับการพัฒนาจาก Li-ion อีกระดับคือ นอกจากจะเบา แล้ว ยังสามารถที่จะปล่อยให้ไฟหมด โดยไม่มีผลเรื่องความเสื่อมประสิทธิภาพของเซล รวมทั้งยังสามารถออกแบบรูปร่างให้เหมาะสมกับมือถือในแต่ละรุ่นได้อย่างง่ายดาย และสามารถออกแบบได้บางเป็นพิเศษ

อย่างไรก็ตาม การที่ในปัจจุบัน มันยังไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร เป็นเพราะสาเหตุสำคัญสองอย่างคือ จำนวนครั้ง ในการชาร์จไฟใหม่ น้อยเกินไป และราคา ที่สูงเกินไป ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็เช่น แบตเตอรี่ PowerPad 160 แบบต่อภายนอก จะสามารถชาร์จไฟซ้ำ ได้แค่ 300 ครั้งเท่านั้น ซึ่งนับว่า น้อยกว่าแบตเตอรี่ nickel-metal hydride หรือ lithium ion ถึงครึ่งหนึ่ง และแบตเตอรี lithium polymer ในปัจจุบันนี้ ก็ยังมีราคาแพงกว่า แบตเตอรีกลุ่ม lithium-ion มาก โดยเฉพาะ หากจะเทียบกับแบตเตอรี NiMH แล้ว ยิ่งเห็นได้ชัดว่า แพงกว่ามาก

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบแบตเตอรี่ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของแบตเตอรี่	sla	NI-Cd	NI-MH	Li-ion	Li-polymer
ความจุ	1 AMP-30 AMP	--	400-600 mAh	550-1200 mAh	500-700 mAh
อายุการใช้งาน (รอบ)	200-500รอบ	มากกว่า 1,000 รอบ	500รอบ	300-500 รอบ	300 รอบ
อัตราการคายประจุ	ค่อนข้างต่ำ	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำมาก
ระยะเวลาในการชาร์จครั้งแรก ก่อนชาร์จแบบปกติ	Slow charge 8-16 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	อย่างน้อย16 ชม. แต่ไม่เกิน 24 ชม. ทำติดต่อกัน 1 สัปดาห์	อย่างน้อย 5-6 ชม. ทำติดต่อกัน 3-4 ครั้ง	8-16 ชั่วโมง
การชาร์จครั้งต่อไป	8-16 ชั่วโมง	ประมาณ 1/30 ชั่วโมง	2-3 ชั่วโมง	ประมาณ 3 ชั่วโมง	8-16 ชั่วโมง

แบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟ (ชาร์จ) ได้ใหม่ (Rechargeable) มีอยู่สองแบบคือ แบบ Ni ย่อมาจาก Nickel (นิเกิ้ล) และแบบ Li ย่อมาจาก Lithium (ลิเธี่ยม) แบบ Ni มีอยู่ด้วยกันสองชนิดคือ Ni-Cd คือ Nickel-Cadmium (นิเกิ้ล แคดเมี่ยม) และ Ni-MH คือ Nickel-Metal Hydride (นิเกิ้ล เมทัลไฮดราย) แบบ Li มีสองชนิดคือ Li-ion (ลิเธี่ยม อิออน) และ Li-polymer (ลิเธี่ยม โพลีเมอร์) การใช้แบตเตอรี่แบบ Ni (นิเกิ้ล) นั้นมีข้อควรจำคือ ไม่ควรทำการประจุไฟใหม่โดยที่ไฟยังไม่หมด เพราะจะทำให้เกิด Memory Effect (ปฏิกิริยาความจำ) ซึ่งจะทำให้แบตเตอรี่เสื่อม อายุการใช้งานสั้น ยกตัวอย่างเช่น เราเคยชาร์จแบตเตอรี่ที่ไฟหมดแล้วใช้เวลา 3 ชั่วโมงจึงจะเต็ม แต่ถ้าเรานำแบตเตอรี่ที่ยังมีไฟเหลืออีกครึ่ง มาชาร์จโดยไม่มีการ คลายประจุ (Discharge) ทำให้เวลาในการชาร์จสั้นลง ซึ่งถ้าทำเป็นประจำแบตจะเกิดความจำที่ผิดพลาด เช่นอาจจะใช้เวลาในการชาร์จแค่ครึ่งชั่วโมงเต็ม แต่นำมาใช้งานได้แค่ 10 นาทีไฟก็หมด เพราะฉะนั้นถ้าจำเป็นต้องชาร์จแบตโดยที่ไฟยังไม่หมด ก็ต้องทำการคลายประจุ (Discharge) เสียก่อน ซึ่งเครื่องชาร์จส่วนใหญ่จะมีปุ่มกดเพื่อคลายประจุด้วย บางรุ่นอาจจะเป็นแบบ

อัตโนมัติ ส่วนแบตเตอรี่แบบ Li (ลิเธี่ยม) มีข้อดีคือ น้ำหนักเบากว่าแบบ Ni และไม่มี Memory Effect คือสามารถประจุไฟใหม่ได้เลยโดยไม่ต้องมีการคลายประจุก่อน อายุการใช้งานนานกว่า ทำลายสภาพแวดล้อมน้อยกว่า โดยเฉพาะแบบ Li-polymer แต่ราคาแพงกว่าแบบ Ni เป็นเท่าตัว ส่วนใหญ่โทรศัพท์มือถือที่ผ่านมาจะใช้แบบ Ni-MH แต่เนื่องจากปัจจุบันโทรศัพท์จะมีขนาดเล็กลงมาก ผู้ผลิตจึงมักจะใช้แบบ Li-ion กันมากขึ้น เพราะสามารถทำให้มีขนาดเล็กได้มากกว่าแบบ Ni สำหรับแบบ Li-polymer ยังมีให้ใช้ไม่มากนักเพราะมีราคาสูงมาก ส่วนความหมายของ mAh คือ ความจุของแบตเตอรี่ เป็น มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง เช่น แบตเตอรี่ 1000 mAh มีความจุ 1000 มิลิแอมป์ ถ้าเครื่องกินไฟ 100 มิลลิแอมป์ต่อชั่วโมง ก็แสดงว่าแบตเตอรี่ก้อนนี้สามารถใช้ได้นาน 10 ชั่วโมง

2.8 โพลิเมอร์นำไฟฟ้า (conductive polymer)

โพลิเมอร์(Polymer) คือสารโมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยเล็ก (Monomer) ที่เหมือน ๆ กัน ต่อกันด้วยพันธะ covalent ที่รู้จักกันมากคือ พลาสติกซึ่งมักจะไม่นำไฟฟ้า แต่มีพอลิเมอร์กลุ่มหนึ่งที่นำไฟฟ้าได้ เนื่องจากภายในโมเลกุลประกอบไปด้วยพันธะคู่สลับกับพันธะเดี่ยว ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ง่าย ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอมของสสารต่าง ๆ เป็นตัวบ่งชี้ว่าวัตถุเหล่านั้นมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีมากหรือน้อยเพียงใดนั่นเอง

อิเล็กตรอนของโลหะซึ่งไม่ได้ยึดติดกับนิวเคลียสของอะตอมใดอะตอมหนึ่งโดยเฉพาะ เมื่อได้รับพลังงานกระตุ้นจากภายนอกซึ่งมากพอที่จะทำให้มันหลุดออกจากแรงดึงดูดของโปรตอนที่อยู่ภายในนิวเคลียสของอะตอมได้ อิเล็กตรอนที่หลุดออกมานี้จะสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระไปทั่วชิ้นโลหะ ส่วนสารพลาสติกทั่วไปนั้นเป็นสารประกอบโพลิเมอร์มีโมเลกุลที่ใหญ่โต ประกอบด้วยโครงสร้างของกลุ่มอะตอมที่เหมือน ๆ กันต่อกันเป็นลูกโซ่ มีกรรมวิธีการผลิตเริ่มด้วยการนำโมเลกุลของสารตั้งต้นมาผ่านกระบวนการโพลิเมอร์ไรซิ่ง (polymerising) ซึ่งจะได้พลาสติกมีชื่อเรียกตามชื่อของสารตั้งต้น เช่น เมื่อนำสารยูรีเทนมาใช้จะได้พลาสติกมีชื่อว่า โพลียูรีเทน เป็นต้น

หลังจากผ่านกระบวนการโพลิเมอร์ไรซิ่งแล้ว อะตอมภายในโมเลกุลจะยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะทางเคมีที่มีชื่อว่าพันธะโควาเลนต์ อิเล็กตรอนแต่ละตัวที่อยู่ในแผ่นพลาสติกจะมีเจ้าของที่แน่นอน ถ้าไม่ยึดอยู่กับนิวเคลียสของอะตอมอะตอมหนึ่ง ก็เป็นสมาชิกของพันธะเคมีที่ทำหน้าที่ยึดอะตอมต่าง ๆ เข้าด้วยกันเป็นโครงสร้างของโมเลกุล โดยอิเล็กตรอนที่เป็นพันธะเคมีนี้จะขึ้นกับนิวเคลียสของอะตอมคู่ใดคู่หนึ่ง ด้วยเหตุนี้จึงไม่มีอิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่ในแผ่นพลาสติก และนี่คือสาเหตุที่ว่าทำไมพลาสติกจึงไม่นำไฟฟ้า

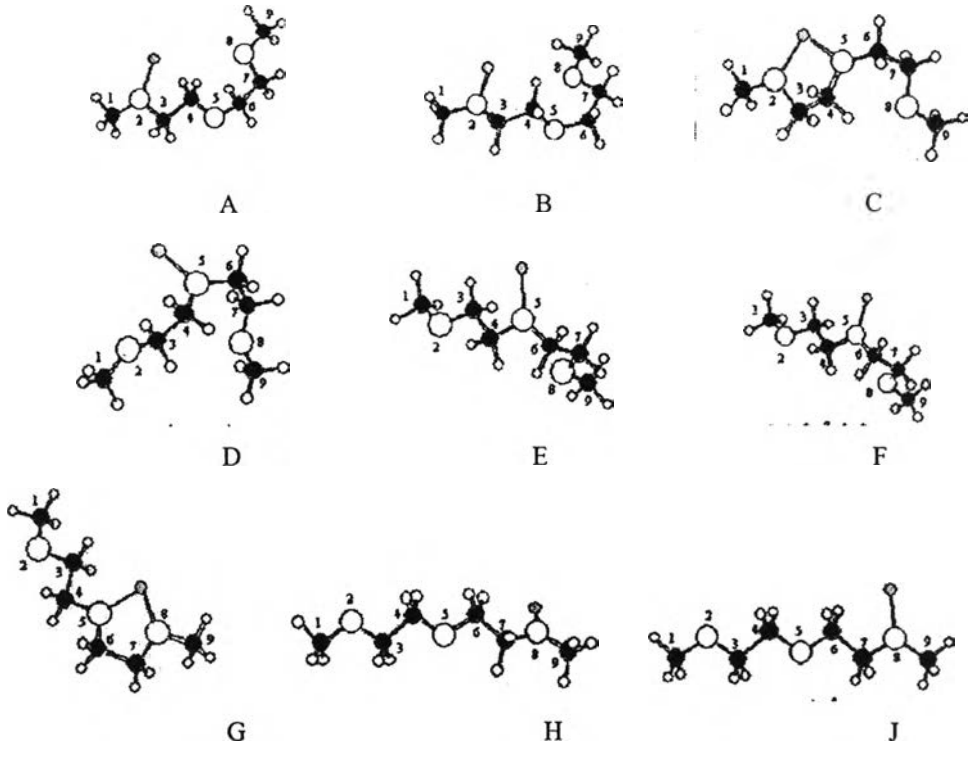
ในปี ค.ศ. 1970 Polyacetylene ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ Hydrocarbon acetylene ซึ่งรู้จักกันในลักษณะเป็นผงดำ Mr.Hideki Shirakawa ได้ทำการสังเคราะห์ Polyacetylene ด้วยวิธีใหม่ เพื่อควบคุมสัดส่วนของ cis-isomers และ trans-isomers ในฟิล์มของ black polyacetylene เขาได้เติมตัวเร่งปฏิกิริยา "Ziegler Natta" มากเกินไปด้วยความผิดพลาด ทำให้เกิด trans-polyacetylene ซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มสีเงิน แม้ว่าจะดูเหมือนโลหะ แต่โพลิเมอร์ดังกล่าวไม่นำไฟฟ้า Mr.Hideki Shirakawa ได้

กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงที่เขาค้นพบกับ Mr.Alan G.MacDiamid เองก็กำลังวิจัยเกี่ยวกับ poly(sulphor nitride) ซึ่งเป็นอนินทรีย์โพลิเมอร์ พบว่ามีลักษณะคล้ายโลหะ และเป็นตัวกึ่งนำไฟฟ้าได้ที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจากความเป็นไปได้เหล่านี้ จึงก่อให้เกิดความร่วมมือกันระหว่างบุคคลทั้ง 2

ต่อมาในปี 1977 พวกเขาได้ค้นพบว่าการทำปฏิกิริยา oxidation ของ polyacetylene ด้วยไอของ chlorine bromine หรือ iodine จะได้ฟิล์มของ polyacetylene ที่มีความนำไฟฟ้ามากกว่าเดิม 10^9 เท่า และจากการกระตุ้นนี้ ทำให้ Polyacetylene มีความนำไฟฟ้า 10^5 Sm^{-1} การค้นพบเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นใหม่ทางเคมีโพลิเมอร์และได้มีการขยายผลกันอย่างกว้างขวาง ในขณะเดียวกันก็ได้มีการพัฒนาเทคนิคกระบวนการต่าง ๆ เพื่อไปพัฒนาและประยุกต์ใช้การค้นพบเทคโนโลยีนี้

โพลิอะเซทิลีนที่ได้ออกมามีลักษณะแตกต่างจากพลาสติกหรือโพลิเมอร์อื่นๆในเรื่องความสามารถในการนำไฟฟ้า แต่ขณะเดียวกันก็มีสมบัติเด่นๆ หลายอย่างเช่นเดียวกับพลาสติกชนิดอื่น เช่น น้ำหนักเบา ขึ้นรูปง่าย ปัจจุบันพบว่านอกจากโพลิอะเซทิลีนแล้ว ยังมีโพลิเมอร์อีกหลายชนิดที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น โพลิพาราเฟนนิลีน (polyparaphenylene) โพลิไพโรล (polypyrrole) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์หลายชนิด ที่มีการนำโพลิเมอร์นำไฟฟ้าได้นี้มาใช้งานแล้ว เช่น แบตเตอรี่ และไดโอดเปล่งแสง (Light - Emitting Diodes : LED) เป็นต้น

ปัจจุบันได้นำเอาพอลิเมอร์ที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาใช้ในลิเธี่ยมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ เพื่อใช้ในลิเธี่ยมแบตเตอรี่ โดยอิเล็กโทรไลต์อยู่ในรูป solid state batteries พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์โดยทั่วไปประกอบด้วย โพลิเอทิลีนออกไซด์ผสมกับเกลือลิเธี่ยม เช่น $LiClO_4$, $LiAsF_6$ หรือ $LiCF_3SO_3$ โดยอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลของโพลิเอทิลีนออกไซด์จะทำหน้าที่ขนส่ง Li^+ (รูปที่2.15)



รูปที่ 2.16 แสดงการขนส่ง Li^+ โดยอะตอมของออกซิเจนในโมเลกุลของโพลิเอทิลีนออกไซด์ โดยเรียงลำดับจาก A-J