

โครงการย่อยที่ 3

การสังเคราะห์อนุภาคเชิงประกอบของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

ปวีณา นารัสว

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ข้อมูลโครงการ

กลุ่มโครงการการสังเคราะห์พอลิเมอร์เชิงประกอบและพอลิเมอร์ผสมของยางธรรมชาติ มข. (1)

สัญญาเลขที่ RDG4750043

โครงการย่อยที่ 3

(ภาษาไทย) การสังเคราะห์อนุภาคลาเทกซ์เชิงประกอบของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

คำสำคัญ อนุภาคลาเทกซ์เชิงประกอบ ยางธรรมชาติ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

(ภาษาอังกฤษ) Synthesis of Composite Latex Particles of Natural Rubber and 2-Hydroxyethyl Methacrylate

Keyword Composite Latex Particles, Natural Rubber, 2-Hydroxyethyl Methacrylate

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสารและ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวปวีณา ชาริไสว

หน่วยงานภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 E-mail asitti@kku.ac.th

นักศึกษาริหรือนักวิจัย หน่วยงานสังกัด ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

ชื่อ-สกุล นางสาวณัษชา คว้างศ์ไพฑูรย์ และนางสาวนวลอนงค์ หาญลำพัง

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 E-mail -

ชื่อและสถานที่ติดต่อของผู้บังคับบัญชาของหน่วยงานของหัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล ผศ.ดร.ไฉนพร ดำนวิรุทัย

หน่วยงาน ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์/โทรสาร 0-4320-2222-41 ต่อ 2243 / 0-4320-2373 E-mail chanai@kku.ac.th

วันเริ่มต้นโครงการ 15 กันยายน 2547 วันสิ้นสุดโครงการ 30 เมษายน 2548

เวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 7 เดือน 15 วัน

บทคัดย่อ

การกราฟต์ระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต กับยางธรรมชาติโดยใช้โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันในระบบอิมัลชัน โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค IR และสมบัติทางความร้อนทดสอบด้วยเทคนิค TG/DTA ซึ่งในการทดลองได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของตัวริเริ่มปฏิกิริยาและความเข้มข้นของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ต่อระดับการกราฟต์ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนโมลระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต กับยางธรรมชาติ ที่ให้กราฟต์โคพอลิเมอร์ที่มีระดับการกราฟต์สูงสุด คือ 95:5 และปริมาณของตัวริเริ่มปฏิกิริยาเป็น 0.05 %โมล นอกจากนี้ยังพบว่าสมบัติทางความร้อนของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) และยางธรรมชาติ จากการทดสอบการละลายของกราฟต์โคพอลิเมอร์นั้นพบว่ามีความแตกต่างจากพอลิ(2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต) และยางธรรมชาติ

คำสำคัญ: อนุภาคลาเทกซ์เชิงประกอบ ยางธรรมชาติ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต

Abstract

The graft copolymerization of 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) monomer onto natural rubber (NR) using potassium persulfate ($K_2S_2O_8$) as an initiator was carried out by emulsion polymerization. The structures of polymer products were characterized by FT-IR spectroscopy and thermal properties were examined by TG/DTA. The effects of the initiator concentration and molar ratio of 2-hydroxyethyl methacrylate to natural rubber on graft copolymerization were investigated. It was found that the level of grafted HEMA onto NR was obtained when the molar ratio of HEMA to NR was 95:5 mole% and the quantity of $K_2S_2O_8$ was 0.05 mole%. In addition, thermal properties of graft copolymers are better than that of poly(2-hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA) and NR. As expected, graft copolymers showed different solubility when compared with PHEMA and NR.

Keyword : Composite Latex Particles, Natural Rubber, 2-Hydroxyethyl Methacrylate

สารบัญ

	หน้า
ข้อมูลโครงการ	98
บทคัดย่อภาษาไทย	99
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	99
สารบัญ	100
สารบัญตาราง	101
สารบัญรูป	102
บทที่ 1 บทนำ	103
1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: NR).....	103
1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	105
1.3 การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization).....	109
1.4 กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติ.....	111
1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	113
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	113
บทที่ 2 การทดลอง ผลการทดลอง และอภิปราย	114
2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	114
2.2 สารเคมี.....	114
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA).....	115
2.4 วิธีการเตรียม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA) ให้บริสุทธิ์.....	116
2.5 การหา % DRC (Dried Rubber Content).....	116
2.6 การเตรียมพอลิ Poly(2-hydroxyethyl methacrylate) (PHEMA).....	118
2.7 การกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA).....	119
บทที่ 3 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ	134
เอกสารอ้างอิง	135
ภาคผนวก	136

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	104
1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางแห้ง.....	104
1.3 แสดงการจัดกลุ่มของยางตามค่าความต้านทานต่อการขูด.....	107
2.1 %DRC ของน้ำยางสด ชุดที่ 1.....	117
2.2 %DRC ของน้ำยางสด ชุดที่ 2	117
2.3 %DRC ของน้ำยางขึ้น	117
2.4 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตโดยใช้ TEPA เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (%DRC = 61)	120
2.5 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตโดยใช้ $K_2S_2O_8$ เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (%DRC = 35)	120
2.6 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (%DRC = 61)	121
2.7 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ เมื่อใช้ $K_2S_2O_8$ 0.05 mole%	123
2.8 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ เมื่อใช้ $K_2S_2O_8$ 0.05 mole%	123
2.9 ปริมาณสารที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ เมื่อใช้ $K_2S_2O_8$ 0.05 mole%	123
2.10 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละส่วน น้ำหนักของยาง (NR) และ HEMA ที่ใช้.....	124
2.11 หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ก่อนการสกัด PHEMA จากการสกัดด้วยเอทานอลและกราฟต์โคพอลิเมอร์ (NR-g-HEMA)	126
2.12 ค่า Transmittance ratio ของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ในการทดลองแต่ละชุด	127
2.13 น้ำหนักที่สูญเสียไป (TG %) และอุณหภูมิ (T)	131
2.14 น้ำหนักที่สูญเสียไป (TG %) และอุณหภูมิ (T)	132
2.15 การละลายของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้	133

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	105
1.2 องค์ประกอบของระบบอิมัลชัน	110
2.1 IR สเปกตรัมของ HEMA	116
2.2 IR สเปกตรัมของ NR	118
2.3 IR สเปกตรัมของ PHEMA	119
2.4 IR สเปกตรัมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทดลองชุดที่ 2 (ในตารางที่ 2.7 ซึ่งใช้ อัตราส่วนโมล NRL:HEMA เป็น 90:10 และ $K_2S_2O_8$ 0.05 mole%)	125
2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าTransmittance Ratio ของกราฟดีโคพอลิเมอร์กับ.mole% ของ HEMA	127
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าTransmittance Ratio ของกราฟดีโคพอลิเมอร์กับmole% ของ $K_2S_2O_8$	128
2.7 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอล (PHEMA)	129
2.8 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ของสารที่ได้จากการสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์ (NR)	130
2.9 TGA เทอร์โมแกรมของผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากการสกัดด้วยเอทานอลและปิโตรเลียมอีเธอร์ (NR-g-HEMA)	130

1. บทนำ

1. 1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: NR)¹

รูปแบบของยางธรรมชาติหรือยางพาราส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยางพาราสายพันธุ์ Hevea Braziliensis ซึ่งเป็นไม้ป่าที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นสีขาวข้นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) ประมาณ 30 % (โดยน้ำหนัก) แวนลอยอยู่ในน้ำ ปริมาณของเนื้อยางแห้งขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล โดยทั่วไปยางธรรมชาติสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่

1.1.1 น้ำยาง

เนื่องจากน้ำยางสดที่กรีดจากต้นยางมีปริมาณน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และยังทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Contrifugation) เพื่อลดปริมาณน้ำในน้ำยางสดจนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นจาก 30% เป็น 60% โดยน้ำหนัก เรียกน้ำยางที่ได้นี้ว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) แต่เนื่องจากในน้ำยางมีสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น โปรตีน ฟอสโฟไลปิด (Phospholipid) ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย (ดังตารางที่ 1) ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายด้วยเชื้อจุลินทรีย์หรือเชื้อแบคทีเรียได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน หรือสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นน้ำยาง จึงสามารถบูดเน่าส่งกลิ่นเหม็นได้ จึงต้องมีการเติมสารแอมโมเนียลงไป หรืออาจใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่นๆ เพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางที่ใช้แอมโมเนียอย่างเดียวจะต้องใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงถึง 0.7 % น้ำยางชนิดนี้มีชื่อเรียกว่า high ammonia latex หรือ HA latex ส่วนน้ำยางที่ใช้แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นต่ำเพียง 0.2 % ก็จำเป็นต้องเติมใช้สารเคมีอื่นๆ ร่วมด้วยเช่น กรดบอริค 0.2% เป็นต้นซึ่งน้ำยางชนิดนี้เรียกว่า low ammonia latex หรือ LA latex

ตารางที่ 1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ(โดยน้ำหนัก)
ส่วนที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารกลุ่มโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
ขี้เถ้า	สูงถึง1
น้ำตาล	1

น้ำยางข้น ส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกไปสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยาง โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถกำจัดน้ำออกได้ง่าย นั่นคือ ผลิตภัณฑ์นั้นต้องบางหรือมีรูพรุนเพื่อให้ น้ำระเหยออกได้ง่ายตามรูพรุนเหล่านั้น ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง จุกหัวนม เบ้าหล่อปูนปลาสเตอร์ ฟองน้ำที่นอน และหมอนฟองน้ำ เป็นต้น

1.1.2 ยางแห้ง

ยางแห้งได้จากการนำน้ำยางสดที่กรี๊ดได้มาเติมกรด(นิยมใช้กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก หรือ กรดซัลฟูริก) เพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็ทำการไล่ความชื้นออกจากเนื้อยาง เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้งแสดงในตารางที่1.2

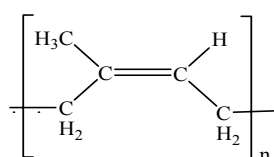
ตารางที่ 1.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง

ส่วนประกอบ	ร้อยละ(โดยน้ำหนัก)
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำกระจายอยู่ในเนื้อยาง	10

สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ มีชื่อทางเคมีคือ *cis*-1,4-polyisoprene (รูปที่ 1.1) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000- 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่าหากนำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกับแก้ว



cis-isoprene

รูปที่ 1.1 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

จากรูปจะเห็นว่าในหนึ่งหน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกัมมันตอยู่ ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกัมมันต อย่างไรก็ตาม พันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือ โอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง (ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่างๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะเช่นที่มีอุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่เรียกว่า “Low Temperature Crystallization” จะพบในกรณีที่ยางไวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C เป็นเวลานาน โดยยางมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ -26°C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่นๆ ได้ แต่เมื่อมี อุณหภูมิสูงขึ้น ผลึก

ที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ขางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ประเทศในเขตนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่มี อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C เพื่อให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “Strain Induced Crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้น 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ขางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง (Transparent) ไปเป็น ทึบแสง (Opaque) ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้น

1.2.1 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ความยืดหยุ่น (Elasticity)

สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทบกับยางหมดไป ขางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียงได้อย่างรวดเร็ว)

ความเหนียวติดกัน (Tack)

ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติที่เกี่ยวข้องในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength)

เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ต้องใส่สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength)

เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยจะทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties)

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัว (fatigue resistance) ที่สูงมากอีกด้วย

ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance)

ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงน้อยกว่ายาง SBR เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมากดังแสดงในตารางที่ 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงการจัดกลุ่มของยางตามค่าความต้านทานต่อการขัดถู

กลุ่มที่	ความต้านทานต่อการขัดถู	ยาง
1	สูงมาก	ยางพอลิยูรีเทน (AU/EU), ยางบิวตาไดอิน (SBR), ยางไนไตรล์ (NBR) และยางธรรมชาติ (NR)
2	สูง-สูงมาก	ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอิน (EPDM), ยางคลอโรพรีน (CR) และยางคลอโรซัลโฟเนตพอลิเอทิลีน (CSM)
3	สูง	ยางบิวไทล์ (IIR), ยางเอทิลีนอะคริลิก (ethylene acrylic elastomer) และยางเอทิลไวน์อะซิเตต (ethyl vinyl acetate elastomer)
4	ต่ำ	ยางซิลิโคน

ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation)

ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistance) สูงถึง 10^{15} หรือ 10^{16} ohm cm

ความต้านทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance)

เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และ โทลูอิน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้ายางเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปจึงเพียงแต่เกิดการบวมในตัวทำละลายเหล่านี้เท่านั้น อย่างไรก็ตามการบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงไม่

ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลาย ที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือ อัลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อการครูดและฉีกฉีกได้ดี แต่ไม่ทนต่อการครูดในตริก และ กรดกำมะถันเข้มข้น

การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และ แสงแดด (Aging properties)

เนื่องจากโมเลกุลยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (เรียกปฏิกิริยานี้ว่า ออกซิเดชัน) โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซน เพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนานๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยึดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ ในระหว่าง การผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Anti-degradant) และ ไว (Wax) ลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility)

ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ซึ่งยางที่สมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตะไดอิน (BR) และยางซิลิโคน

Compression set

ยางธรรมชาติมีค่า Compression set ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึก ทำให้ความยืดหยุ่นของยางสูญเสียไป ในขณะที่ค่า Compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ Compression set ค่อยลง

การกระด้างกระดอน (Rebound resillience)

ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูง (สูงกว่ายางชนิดอื่นๆ ทั้งหมด ยกเว้นยาง BR และในระหว่างการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง ยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย มี hysteresis ต่ำ) ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต ยางชนิดนี้จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ยางที่มีขนาดใหญ่ เช่น ยางรถบรรทุก หรือ ยางล้อเครื่องบิน เพราะ หากใช้ยางที่มีความร้อนสะสมสูงก็อาจทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ง่าย

อุณหภูมิของการทำงาน (Service temperature)

ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึก ซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะค่อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเสื่อมสภาพ ใน

บางกรณีที่มีการออกสูตรผสม เคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90 °C หรืออาจสูงถึง 100 °C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วงๆเท่านั้น)

1.2.2 การใช้งาน

ในอดีต ยางธรรมชาติจัดเป็นยางเอนกประสงค์ที่สามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้มากมายเนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติก็มีข้อด้อยหลักคือ ไม่ทนต่อความร้อน สภาพอากาศ น้ำมัน และสารเคมีอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ ยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ จึงเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนที่ยางธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ยางบางชนิดยังคงจำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เนื่องจาก

1. ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความทนทานต่อแรงดึงแม้ไม่ได้เติมสารตัวเติมเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางบางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง และยางรัดของ เป็นต้น

2. ยางธรรมชาติมีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง ในขณะความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นใช้งานต่ำ และมีสมบัติความเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน ฝ้ายาง ยางกันกระแทกท่าเรือ หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

3. ยางธรรมชาติความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เนื่องจากในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้ต้องมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

1.3 การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization)²

การเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันมีองค์ประกอบหลักคือ ตัวกลาง (น้ำ) ตัวริเริ่ม (Initiator) สารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และมอนอเมอร์ ตัวริเริ่มละลายในน้ำ

องค์ประกอบหลักในกระบวนการได้แก่

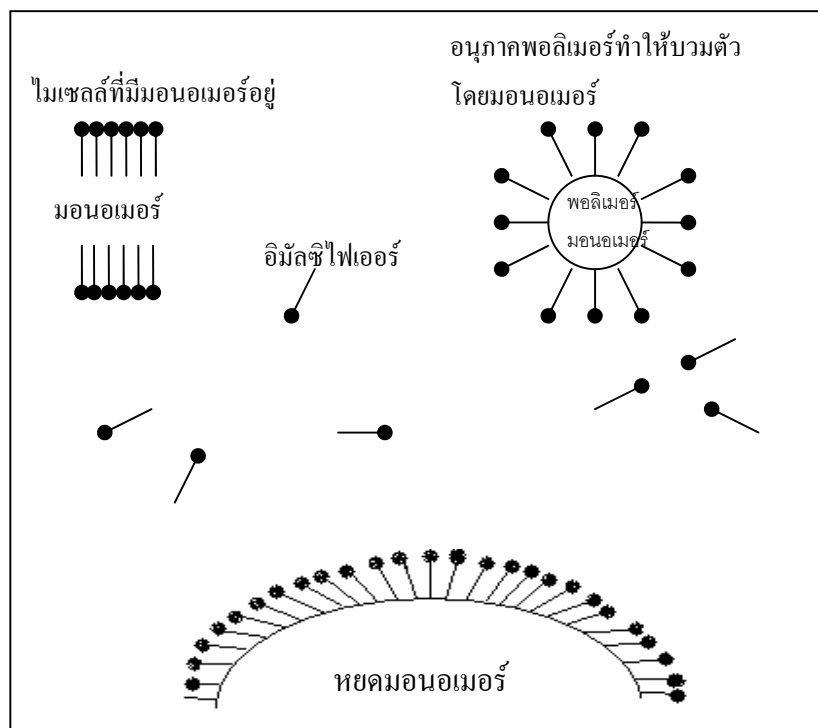
1. มอนอเมอร์ที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้น้อยมาก
2. ตัวกลาง (Dispersing media) ซึ่งได้แก่ น้ำ
3. สารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งได้แก่สบู่หรือผงซักฟอก ทำหน้าที่ลดความตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดภาวะอิมัลชัน

4. ตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น เปอร์ซัลเฟต หรือเปอร์ออกไซด์

การเตรียมพอลิเมอร์แบบอิมัลชัน

เริ่มต้นด้วยการตีสบู่หรือผงซักฟอกรวมกับน้ำ สบู่จะละลายในน้ำเพียงเล็กน้อยส่วนที่เหลือจะเกาะกันเป็นกลุ่มเรียกว่าไมเซลล์ (Micell) ซึ่งโดยปกติแต่ละไมเซลล์ประกอบด้วยโมเลกุลของสบู่ 50-100 โมเลกุล ตามที่ทราบกันดีโมเลกุลของสบู่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่เป็นโซไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีสภาพขั้วและหมู่คาร์บอกซิลิกที่มีสภาพขั้วที่ปลาย ดังนั้นโมเลกุลของสบู่ซึ่งเป็นองค์ประกอบของไมเซลล์จะมีส่วนที่เป็นโซไฮโดรคาร์บอนที่มีทิศทางชี้เข้าข้างใน ส่วนหมู่คาร์บอกซิเลตซึ่งชอบน้ำชี้ออกข้างนอก เมื่อเติมมอนอเมอร์ (หรือค่อมอนอเมอร์) ที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำเข้าไปในระบบขณะที่มีการกวนตลอดเวลา มอนอเมอร์บางส่วนจะละลายในไมเซลล์ทำให้ขนาดของไมเซลล์เพิ่มขึ้น มอนอเมอร์อื่นๆ (ยกเว้นที่ละลายไปซึ่งมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น) จะอยู่กันเป็นหยดเล็กๆ ที่มีรัศมี 2-3 ไมครอน กระจายไปทั่วระบบ (รูปที่ 1.2) หยดมอนอเมอร์เหล่านี้จะอยู่ค่อนข้างเสถียร (ไม่รวมตัวเป็นหยดใหญ่ขึ้น) โดยสบู่ซึ่งละลายจะทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ ดังนั้นระบบประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. ส่วนของน้ำที่มีสบู่และมอนอเมอร์ละลายอยู่เล็กน้อย
2. หยดมอนอเมอร์ที่อยู่ค่อนข้างเสถียรเพราะสบู่ที่ละลาย
3. ไมเซลล์ที่อ้อมตัวด้วยมอนอเมอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าหยดมอนอเมอร์มาก แต่มีจำนวนมากกว่ามาก



รูปที่ 1.2 องค์ประกอบของระบบอิมัลชัน

เมื่อเติมตัวริเริ่มซึ่งสามารถละลายในน้ำได้ ลงสู่ระบบ เมื่ออยู่ในสภาวะเหมาะสมตัวริเริ่มจะแตกตัวได้อนุมูลอิสระ (Free Radical) ที่สามารถริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันได้ ซึ่งสามารถเกิดได้ทั้ง 3 ตำแหน่งคือ

1. มอนอเมอร์ที่ละลายน้ำ
2. หยคมอนอเมอร์โดยการแพร่เข้าไปยังหยคมอนอเมอร์เหล่านี้
3. ไมเซลล์โดยการแพร่เข้าไปสู่ไมเซลล์

เนื่องจากในสารละลายของน้ำมีความเข้มข้นของมอนอเมอร์ต่ำมาก การเกิดพอลิเมอร์จึงเป็นไปได้ยาก การเกิดพอลิเมอร์จึงเริ่มที่ในไมเซลล์และหยคมอนอเมอร์เท่านั้น จากการคำนวณพบว่าจำนวนไมเซลล์มีประมาณ 10^{18} ไมเซลล์ต่อตารางเซนติเมตร หรือเทียบเท่ากับพื้นผิว 50-100 ตารางเมตร ซึ่งจากการประมาณคิดเป็น 10-1000 เท่าของพื้นผิวทั้งหมดของหยคมอนอเมอร์ เนื่องจากอัตราการแพร่ของอนุมูลอิสระแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว อนุมูลอิสระทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะแพร่เข้าไปยังไมเซลล์และปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ทั้งหมดเกิดขึ้นในไมเซลล์ จากการคำนวณพบว่าไม่มีการเกิดพอลิเมอร์ในหยคมอนอเมอร์เลยเมื่ออนุมูลอิสระแพร่เข้าไปยังไมเซลล์ (ประมาณ 1/1000 ของไมเซลล์เท่านั้นที่รับอนุมูลอิสระเข้าไป) กระบวนการอินิทิเอชันและโพรพาเกชันเกิดขึ้นทันที ซึ่งในขณะเดียวกันจะมีการป้อนมอนอเมอร์จากแหล่งอื่นๆ คือจากหยคมอนอเมอร์และที่ละลายน้ำเข้าไปยังไมเซลล์นี้ ขนาดของไมเซลล์จะขยายใหญ่ขึ้นควบคู่ไปกับการเกิดการแพร่ (ซึ่งขณะนี้เรียกว่าอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์) จึงจำเป็นต้องเพิ่มโมเลกุลของสบู่เข้ามาเพื่อคงความเสถียรของไมเซลล์นั้น ซึ่งก็ทำได้โดยดูดเอาไมเซลล์อื่นๆ ที่ไม่ได้มีการเริ่มต้นปฏิกิริยา ดังนั้นไมเซลล์อื่นๆจะถูกดูดโดย อนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์จนหมดสิ้น เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไปเพียง 2-20% ขึ้นกับรายละเอียดของระบบ การแพร่จะดำเนินไปเรื่อยๆในอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์จนกว่าอนุมูลอิสระอื่นจะแพร่เข้าไปยังอนุภาคนั้น ขั้นตอนการหยุดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันที อย่างไรก็ตามอนุภาคมอนอเมอร์-พอลิเมอร์อยู่กันอย่างค่อนข้างโดดเดี่ยว(ห่างไกลจากอนุภาคโมโนเมอร์อื่น) เป็นเหตุให้กระบวนการหยุดปฏิกิริยาปกติ กล่าวคือการรวมตัวของโซ่เรดิคัลพอลิเมอร์ 2 โซ่ มีโอกาสเกิดขึ้นน้อย ผลที่ได้ก็คืออัตราการแพร่เกิดเร็วมากและได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ได้เตรียมจากกระบวนการเกิดพอลิเมอร์แบบอนุมูลอิสระชนิดอื่นๆ มาก

1.4 กราฟต์โพลีเมอร์ของยางธรรมชาติ

กระบวนการอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชัน (Emulsion Polymerization) คือ การสังเคราะห์พอลิเมอร์ในรูปของอนุภาคพอลิเมอร์ซึ่งแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งถ้าของเหลวตัวกลางเป็นน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเรียกว่า ลาเท็กซ์ (Latex) ข้อดีของการใช้การสังเคราะห์แบบนี้ก็คือ ความหนืดของของผสมพอลิเมอร์จะมีค่าต่ำตลอดระยะเวลาของการพอลิเมอร์ไรเซชัน เนื่องจากระบบประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ที่ไม่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยา ซึ่งถ้าเป็นการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบสารละลาย เมื่อเวลาของปฏิกิริยาผ่านไป ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้จำเป็นต้องมีตัวกวนหรือตัวผสมที่มีแรงขับสูง และเนื่องจากยางธรรมชาติจากแหล่งกำเนิดอยู่ในรูปของลาเท็กซ์อยู่แล้ว ทำให้สามารถนำมาทำการสังเคราะห์แบบอิมัลชันพอลิเมอร์ไรเซชันได้ทันที ช่วยลดขั้นตอนของการเตรียมสารละลายของยางธรรมชาติ และลดการใช้ตัวทำละลาย ส่งผลให้ไม่มีการปนเปื้อนของตัวทำละลายในผลิตภัณฑ์ที่ได้ นอกจากนี้การใช้ระบบพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชันจะทำให้แต่ละอนุภาคของยางธรรมชาติมีส่วนของพอลิเมอร์ชนิดที่สองประกอบอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ชนิดที่สองในยางธรรมชาติอยู่ในระดับจุลภาค (Microscopic) เมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และจะส่งผลดีต่อคุณสมบัติต่างๆของพอลิเมอร์เชิงประกอบ

ในการสังเคราะห์อนุภาคลาเท็กซ์เชิงประกอบของพอลิเมอร์ 2 ชนิด ทำได้โดยการนำพอลิเมอร์ชนิดแรกซึ่งอยู่ในรูปของลาเท็กซ์มาทำให้บวมโดยมอนอเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดที่สอง จากนั้นจึงทำการเติมตัวเริ่มปฏิกิริยาลงไป เพื่อทำให้เกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์ดังกล่าวบนอนุภาคของพอลิเมอร์ชนิดแรก³ ตัวแปรที่สำคัญซึ่งจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิเมอร์ลาเท็กซ์เชิงประกอบก็คือสัณฐานวิทยาของอนุภาคลาเท็กซ์เชิงประกอบ โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อสัณฐานวิทยามีอยู่หลายปัจจัย ที่สำคัญได้แก่ ชนิดและปริมาณของพอลิเมอร์ที่ใช้ (อัตราส่วนระหว่างพอลิเมอร์แต่ละตัว) ความเป็นขั้วของพอลิเมอร์ รูปแบบการเติมมอนอเมอร์ สารเพิ่มที่ใช้ (Surfactant หรือ Chain Transfer Agent) ชนิดของตัวเริ่มปฏิกิริยา และอุณหภูมิของปฏิกิริยา^{4,5} Lamba และคณะ^{6,7} ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเชิงประกอบของยางธรรมชาติกับพอลิสไตรีน และ ยางธรรมชาติกับพอลิเมทิลเมทาคริเลต (Polymethylmetacrylate :PMMA) รูปแบบของการเติมมอนอเมอร์ที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบกะ (Batch) และกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous) พบว่ากระบวนการเติมพอลิสไตรีนมอนอเมอร์แบบกะ กับการใช้ตัวเริ่มปฏิกิริยาแบบชอบน้ำ ทำให้เกิดอนุภาคพอลิสไตรีนกระจายตัวอยู่ภายในอนุภาคของยางธรรมชาติ ในขณะที่การสังเคราะห์โดยใช้กระบวนการเติมมอนอเมอร์แบบกึ่งต่อเนื่องกับเมทิลเมทาคริเลต⁸ จะทำให้เกิดชั้นของพอลิเมทิลเมทาคริเลตล้อมรอบอนุภาคของยางธรรมชาติไว้ ดังนั้นการเลือกใช้มอนอเมอร์ที่มีความเป็นขั้วสูงกว่าสไตรีน และเมทิลเมทาคริเลต เช่น 2-ไฮดรอกซีเอทิลอคริเลต หรือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ควรจะให้อนุภาคลาเท็กซ์เชิงประกอบของยางธรรมชาติกับพอลิเมอร์ชนิดที่สอง คือ พอลิ-2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต ที่มีสัณฐานวิทยา และสมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติทางความร้อน สมบัติทางความชื้น สมบัติทางเคมี และการละลายแตกต่างจากเดิม

1.5 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อน และการละลายของกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติปกติ

1.6 ขอบเขตการวิจัย

1. ทำการสังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ระหว่างยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต โดยใช้การสังเคราะห์แบบกะ เพื่อทำการหาชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยตัวริเริ่มอาจเป็นแบบชอบน้ำ ไม่ชอบน้ำ หรือรีดอกซ์ (Redox Initiator) รวมทั้งหาองค์ประกอบที่จำเป็นอื่นๆ เช่น สารช่วยการคงตัว
2. ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างปริมาณของมอนอเมอร์กับปริมาณของยางธรรมชาติ และอัตราส่วนระหว่างปริมาณของตัวริเริ่มกับปริมาณของมอนอเมอร์เป็นหลัก
3. นำกราฟต์โคพอลิเมอร์ที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติทางความร้อน การละลาย เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ

2. การทดลอง

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy (NMR) : Varian AS 400
- Fourier Transform Infrared Spectrophotometer(FT-IR) : Perkin Elmer spectrum one
- Balance (accuracy : 10^{-4} g)
- Soxhlet extraction set
- Cooling set
- Magnetic bar
- Condenser
- Rotary evaporator
- Hotplate and stirrer
- Oil bath
- ขวดกักกลม
- เทอร์โมมิเตอร์
- แก๊ส N_2
- ลูกโป่ง

2.2 สารเคมี

- ยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex: NRL)
- Sodium laurylsulphate (SLS) : Ajax
- Potassium persulphate ($K_2S_2O_8$) : Aldrich
- Benzoylperoxide (BPO) : Acros
- 2-hydroxyethyl methacrylate : Acros
- Sodium bicarbonate ($NaHCO_3$) : Aldrich
- Tetraethylenepentaamine (TEPA) : Aldrich
- tert-butyl hydroperoxide solution : Fluka
- Alumina, basic Brockmann I: Aldrich
- Ethanol

- Petroleum ether
- Chloroform
- Chlorobenzene
- DI water
- Sand, acid washed: Unilab

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของ 2-Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)⁹

ชื่อเคมี IUPAC : 2-Methyl-2 propenoic acid 2-hydroxyethyl ester

ชื่อเคมีทั่วไป : 2-Hydroxyethyl methacrylate

สถานะ : ของเหลว

สี : ใสไม่มีสี

กลิ่น : คล้ายผลไม้

น้ำหนักโมเลกุล : 130.14

จุดเดือด($^{\circ}\text{C}$) : 205 – 208

จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง ($^{\circ}\text{C}$) : -

12

ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 1.0340

ความเป็นกรด-ด่าง (pH) : 4 ที่ 20

$^{\circ}\text{C}$

ความหนืด(mPa. sec) : 9

ความดันไอ(มม.ปรอท) : 0.5 ที่ 60

$^{\circ}\text{C}$

ความสามารถในการละลายน้ำที่(กรัม/100 มล.) : ละลายได้ ที่ 20 $^{\circ}\text{C}$

ข้อมูลทางกายภาพและเคมีอื่น ๆ : สารไวต่อแสง ความชื้น ความร้อน

ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียรภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : เอมีน สารประกอบกรดเปอร์ออกไซด์ กรด เบส ความร้อน
- สภาวะที่ต้องหลีกเลี่ยง : สารที่เข้ากันไม่ได้ สารออกซิไดซ์รุนแรง
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : ไม่มีรายงานไว้
- สารที่ทำให้เสถียร : ไฮโดรควิโนน โมโนเมทิลอีเธอร์

อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ - การหายใจเข้าไปไม่มีรายละเอียดของอาการพิษ

สัมผัสทางผิวหนัง - การสัมผัสถูกผิวหนัง จะทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดภูมิแพ้

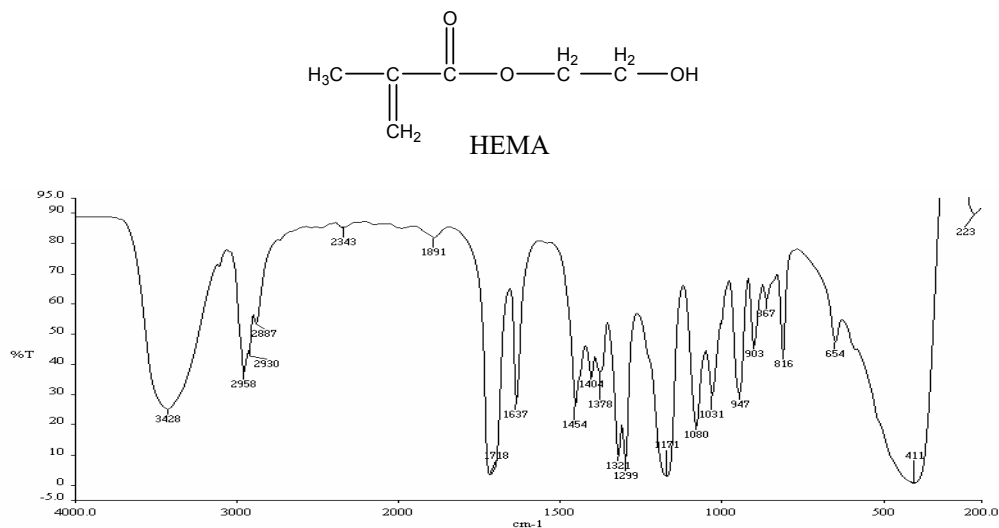
กินหรือกลืนเข้าไป - การกลืนเข้าไป ไม่มีรายละเอียดของการเกิดพิษ

สัมผัสถูกตา - การสัมผัสถูกตา จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา

2.4 วิธีการเตรียม 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA) ให้บริสุทธิ์

ใส่ตัวลึกลงในบริเวณด้านล่างของคอลัมน์หน้าประมาณ 5 มิลลิเมตร แล้วเททรายลงบนตัวลึคอลัมน์หน้า ประมาณ 3 มิลลิเมตร จากนั้นชั่งอะลูมินามา 8 กรัม แล้วค่อยๆ เทลงในคอลัมน์ แล้วเททรายลงบนอะลูมินาหน้าประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วปิดทับด้วยตัวลึหน้าประมาณ 5 มิลลิเมตร ต่อจากนั้นเท HEMA บริสุทธิ์ลงในคอลัมน์เพื่อกำจัดไฮโดรควิโนโนโมโนเมทิลอีเธอร์ ซึ่งเป็นตัวยับยั้งปฏิกิริยาออก รงรับที่ไหลผ่านคอลัมน์ด้วยขบวนการพุ่มพุ่มซึ่งหุ้มไว้ด้วยแผ่นอลูมิเนียมเพื่อป้องกันแสงและแซ่ไว้ในน้ำแข็ง จากนั้นเก็บ HEMA ที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C เพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

จากการเตรียม HEMA ให้บริสุทธิ์โดยผ่านคอลัมน์ที่บรรจุอะลูมินา สาร HEMA ที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสีเมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR ผลปรากฏดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 IR สเปกตรัมของ HEMA

จากสเปกตรัมที่ได้มีพีคปรากฏที่ 3428 cm⁻¹ คือ OH stretching, 2958-2887 cm⁻¹ คือ CH stretching ของอะลิเฟติก 1718 cm⁻¹ คือ C=O stretching และ 1637 cm⁻¹ คือ C=C stretching

2.5 การหา % DRC (Dried Rubber Content)

ชั่งยางสดใส่ Pri dishme ทำให้ง่ายตากตะกอนด้วยสารละลาย acetic acid : ethanol : water (30 : 500 : 470 ml) ปริมาณ 1000 ml โดยใช้หลอดหยด หยดขอบๆ แล้วใช้พายสแตนเลสเขี่ยบางๆ จะได้ยางแผ่นสี

ขาว แล้งด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่ 65 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บในโถสุญญากาศขึ้น 30 นาที ชั่งน้ำหนัก ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2.1-2.3

ตารางที่ 2.1 % DRC ของน้ำยางสด ชุดที่ 1

รหัส	น้ำหนักยางสด (g)	น้ำหนักยางแห้ง จากการอบ (g)	% DRC (โดยน้ำหนัก)	% DRC เฉลี่ย
D1	5.3135	1.8944	35.65	35.60
D2	5.2152	1.8512	35.50	
D3	5.2405	1.8690	35.66	

ตารางที่ 2.2 % DRC ของน้ำยางสด ชุดที่ 2

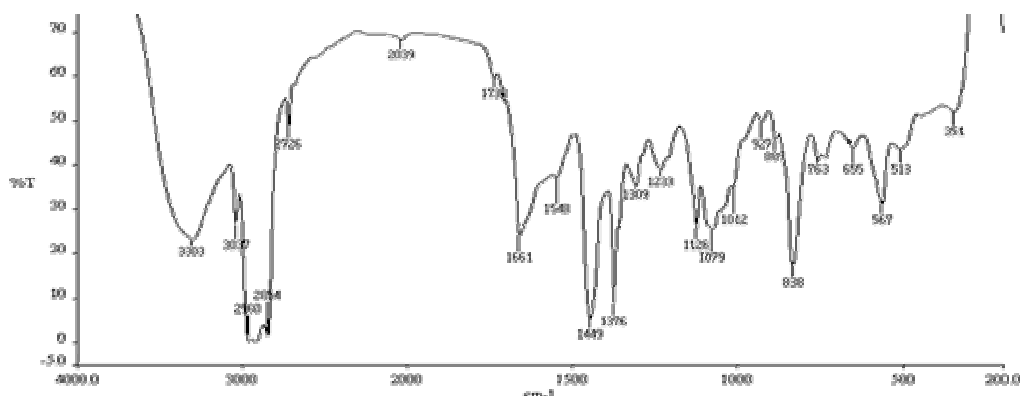
รหัส	น้ำหนักยางสด (g)	น้ำหนักยางแห้งจาก การอบ (g)	% DRC (โดยน้ำหนัก)	% DRC เฉลี่ย
D1	5.0523	1.7459	34.56	34.48
D2	5.0227	1.7410	34.66	
D3	4.9344	1.6887	34.22	

ตารางที่ 2.3 % DRC ของน้ำยางขึ้น

รหัส	น้ำหนักยางสด (g)	น้ำหนักยางแห้ง จากการอบ (g)	% DRC (โดยน้ำหนัก)	% DRC เฉลี่ย
D1	11.1592	6.8453	61.2929	61.2540
D2	9.9894	5.7450	57.5100	
D3	15.7088	9.5560	60.8320	
D4	11.1183	6.7606	60.8060	
D5	9.8462	6.0351	61.2340	
D6	5.0204	3.0891	61.5310	

D7	5.0977	3.1373	61.5400	
D8	4.9045	3.0162	61.4990	

จากการทดลองหาค่า %DRC ในน้ำยางข้นมีค่าประมาณ 61 และน้ำยางสดประมาณ 35 ซึ่งน้ำยางที่นำมาทำการทดลองบางครั้งจะมีค่า %DRC ไม่เท่ากันขึ้นกับแหล่งที่มาและฤดูกาล เมื่อนำฟิล์มของยางไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR ได้ผลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 IR สเปกตรัมของ NR

จากสเปกตรัมที่ได้มีพีคปรากฏที่ $2960-2864\text{ cm}^{-1}$ คือ CH stretching ของ aliphatic, 1661 cm^{-1} คือ C=C stretching และ 838 cm^{-1} คือ -C-H stretching ของ cis C=C

2.6 การเตรียม Poly(2-hydroxyethylmethacrylate) (PHEMA)

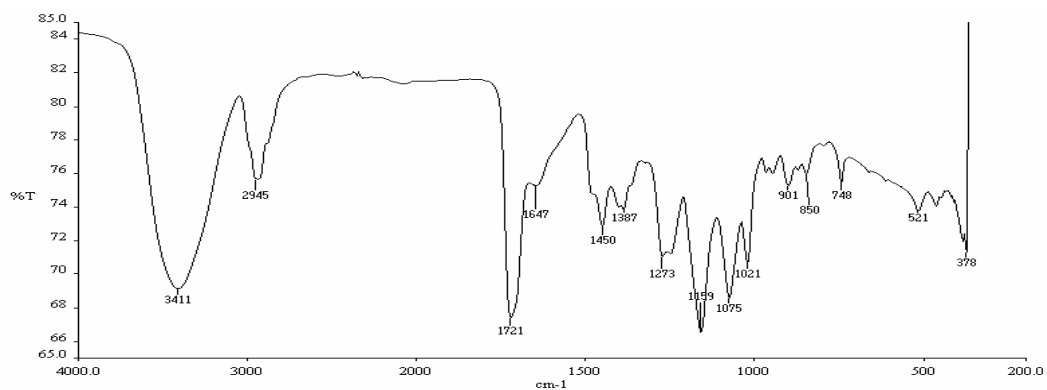
2.6.1 พอลิเมอร์เซชันแบบสารละลาย

เติม HEMA (6.00 g) ลงในขวดก้นกลม 2 คอ และใช้เอทานอล(40 ml) เป็นตัวทำละลาย หลังจากนั้นผ่านแก๊ส N_2 5-10 นาที จึงเติม Benzoylperoxide (BPO, 0.0558 g) ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา จากนั้นทำการรีฟลักซ์ 3 ชั่วโมง สารละลายสีที่ได้นำไปกำจัดตัวทำละลายโดยใช้ Rotary evaporator ผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาทำให้บริสุทธิ์โดยละลายในเอทานอลปริมาณเล็กน้อยและค่อยๆหยดลงใน CH_2Cl_2 แล้วกรองเอาพอลิเมอร์ที่ตกตะกอน และนำไปอบภายใต้สุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พอลิเมอร์ที่ได้มีสีขาวขุ่นได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR โดยการขึ้นรูปเป็นฟิล์ม

2.6.2 พอลิเมอร์เซชันแบบอิมัลชัน

ใช้น้ำ(30 ml)เป็นตัวกลาง ตัวริเริ่มปฏิกิริยาก็คือ $K_2S_2O_8$ (0.1038 g) และใช้ $NaHCO_3$ เป็นบัฟเฟอร์ รีฟลักซ์ 3 ชั่วโมง โดยซัง HEMA (6.00 g) ใส่ลงในขวดก้นกลม 2 คอและเติมสารละลายของ SLS (0.05 g) และ $NaHCO_3$ (0.05 g) ในน้ำแล้วผ่านแก๊ส N_2 10-15 นาที จึงค่อยๆเติมสารละลาย $K_2S_2O_8$ ในน้ำปริมาณเล็กน้อย โดยใช้เข็มฉีดยา จากนั้นปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 5 °C ภายใต้บรรยากาศของ N_2 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ของผสมที่ได้เทลงใน Petri dish แล้วทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำไปอบภายใต้สุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พอลิเมอร์ที่ได้มีสีขาวขุ่นได้ นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG/DTA และIR โดยการขึ้นรูปเป็นฟิล์มด้วยเอทานอล

จากการเตรียม PHEMA แบบสารละลายโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายและเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยรีฟลักซ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมงหลังจากทำให้ PHEMA บริสุทธิ์ ได้พอลิเมอร์สีขาว ซึ่งขุ่นได้บ้าง เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค IR ได้ผลดังรูปที่ 2.3 สำหรับ PHEMA ที่เตรียมแบบอิมัลชันก็ให้ผล IR ในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 2.3 IR สเปกตรัมของ PHEMA

จากรูปจะเห็นว่า HEMA เกิดพอลิเมอร์เชชันให้ PHEMA ซึ่งสังเกตได้จากพีคที่ 1639 cm^{-1} ซึ่งเป็น C=C ของ PHEMA จะลดลงมากเมื่อเทียบกับพีคที่ 1637 cm^{-1} ของ HEMA (รูปที่ 2.1) แสดงว่าพันธะคู่ในมอนอเมอร์เปลี่ยนไปเป็นพันธะเดี่ยวในพอลิเมอร์

2.7 ในการกราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (HEMA)

2.7.1 ใช้ *tert*-butylhydroperoxide/TEPA เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา

นำยางธรรมชาติ (NRL) *tert*-butylhydroperoxide/TEPA และ SLS (ซึ่งมีปริมาณดังในตาราง 2.4) ใส่ลงในขวดก้นกลม 2 คอ ซึ่งบรรจุ DI water 30 ml ผ่านแก๊ส N_2 และคนตลอดเวลาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

จากนั้นค่อยๆ เติมสารละลายของ HEMA ใน chlorobenzene (2 ml) จากนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 ± 5 °C ภายใต้บรรยากาศของ N_2 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเทของผสมที่ได้ซึ่งมีลักษณะเป็นอิมัลชันลงใน Petri dish แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

ตารางที่ 2.4 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต โดยใช้ TEPA เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (%DRC = 61.254)

การทดลอง ชุดที่	NRL:HE MA (mole%)	NRL (g)	HEMA (g)	<i>tert</i> -butylhy droperoxide (g)	SLS (g)	TEPA (g)	ลักษณะของสาร ผสมที่ได้
1	95 : 5	10	0.6172	0.0081	0.1	0.0067	อิมัลชัน
2	90 : 10	10	1.3029	0.0081	0.1	0.0067	ยางจับกันเป็นก้อน
3	70 : 30	10	5.0238	0.0081	0.1	0.0067	ยางจับกันเป็นก้อน

2.7.2 ใช้ $K_2S_2O_8$ เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา

ทำการทดลองทำนองเดียวกับ 2.7.1 แต่เปลี่ยนมาใช้ $K_2S_2O_8$ แทน *tert*-butylhydroperoxide/TEPA และใช้ $NaHCO_3$ เป็นบัฟเฟอร์ ปริมาณของยางธรรมชาติและสารที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สภาวะที่ใช้สังเคราะห์กราฟต์โคพอลิเมอร์ของยางธรรมชาติกับ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตโดยใช้ $K_2S_2O_8$ เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา (%DRC = 35)

การทดลอง ชุดที่	NRL:HEMA (mole%)	NRL (g)	HEMA (g)	$K_2S_2O_8$ (g)	SLS (g)	$NaHCO_3$ (g)	ลักษณะของสาร ผสมที่ได้
1	95 : 5	10	0.3644	0.0071	0.05	0.05	อิมัลชัน
2	90 : 10	10	0.7459	0.0071	0.05	0.05	อิมัลชัน
3	80 : 20	10	1.7034	0.0071	0.05	0.05	ยางจับกันเป็นก้อน