

# ยางนาโนคอมโพสิต (Rubber Nanocomposites)

**วัสดุนาโน (nanomaterials)** คือ วัสดุที่มีอนุภาคขนาดนาโนเมตร (100 นาโนเมตรหรือต่ำกว่า) ลักษณะที่สำคัญของวัสดุนาโนจะมีสมบัติเชิงกลที่ดี มีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูง การซึมผ่านของก๊าซ/ของเหลวน้อย สามารถนำไฟฟ้าได้ และมีสมบัติทางแสง (optical properties) ที่ดี ไม่กระเจิงแสงเมื่อนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความใส

## การพัฒนาโพลิเมอร์นาโนคอมโพสิต

นักวิจัยจาก Toyota เป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่ค้นพบโพลิเมอร์นาโนคอมโพสิตในปี ค.ศ. 1985 หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาโพลิเมอร์นาโนคอมโพสิตอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ nylon 6-clay hybrid, polyimide-clay hybrid, polypropylene-clay nanocomposites, polyethylene-clay nanocomposites, rubber-clay nanocomposites โพลิเมอร์นาโนคอมโพสิตเหล่านี้นำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น บรรจุก๊าซ ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

## การพัฒนายางนาโนคอมโพสิต

ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2002-2003 ได้เริ่มมีการพัฒนายางนาโนคอมโพสิต ยางนาโนคอมโพสิตประเภทแรกที่ได้มีการศึกษาคือ ยาง/เคลย์นาโนคอมโพสิต (rubber/clay nanocomposite) ยางที่ศึกษา ได้แก่ ยางธรรมชาติ (NR), ยางเอสบีอาร์ (SBR), ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM), ยางไนไตรล์ (NBR), ยางโพลียูรีเทน (PU) และยางซิลิโคน (silicone) ส่วนเคลย์ที่นิยมใช้คือ montmorillonite clay (MMT) หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2006 ได้มีการศึกษายางนาโนคอมโพสิตของคาร์บอนนาโนทิวป์ (rubber/CNT) ต่อมาในปี ค.ศ. 2009 มีการศึกษายางนาโนเซลลูโลส (rubber/cellulose nanocrystal) และนาโนคอมโพสิตอื่นๆ เช่น นาโนแคลเซียมคาร์บอเนต (nano-CaCO<sub>3</sub>) นาโนซิงก์ออกไซด์ (nano-ZnO)

## การเตรียมนาโนเคลย์

เคลย์ประกอบด้วยประจุจำนวนมากอยู่ในโครงสร้าง มีความเป็นขั้วสูง มีความเข้ากันได้กับยางหรือโพลิเมอร์ต่ำ จึงต้องมีการดัดแปรพื้นผิวของเคลย์ก่อน โดยการแลกเปลี่ยนประจุที่เคยมีอยู่เดิมในเคลย์ด้วยประจุบวกของอัลคิลแอมโมเนียมไอออน ซึ่งการดัดแปรพื้นผิวของเคลย์จะทำให้ชั้นเคลย์ขยายขึ้น ลดความมีขั้วของพื้นผิวลง ทำให้สารตัวเติมการกระจายตัวที่ดีขึ้น

## วิธีการเตรียมนาโนคอมโพสิต

### 1. Solid mixing

การนำยางมาผสมกับสารตัวเติมนาโนในเครื่องผสมที่มีแรงเฉือนสูง (เช่น two rolls mill, internal mixer) การกระจายตัวของสารตัวเติม (นาโน, ไมโคร) จะขึ้นกับแรงเฉือน เวลาการผสม อุณหภูมิในการผสม และชนิดสารตัวเติม (ผ่านการดัดแปรหรือไม่ผ่านการดัดแปร)

### 2. Solution mixing

การนำยางไปละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม แล้วจึงนำสารละลายยางไปผสมกับสารตัวเติมนาโน แล้วทำให้แห้ง การกระจายตัวของสารตัวเติมขึ้นกับชนิดสารตัวเติม ตัวทำละลายที่ใช้ และอัตราการแข็งตัว (rate of solidification)

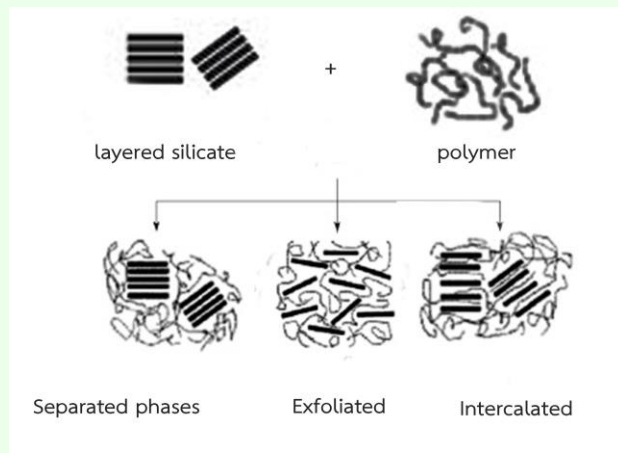
### 3. Latex mixing

การเตรียมสารตัวเติมนาโนให้เป็นสารแขวนลอยก่อนแล้วผสมกับลาเท็กซ์ (อิมัลชันของยางกับน้ำ) การกระจายตัวขึ้นกับอัตราการจับตัว (rate of coagulation) ของยางและสารตัวเติม

#### โครงสร้างของยาง/เคลย์นาโนคอมโพสิต

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของยาง/เคลย์นาโนคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังรูปที่ 1

1. โครงสร้างแบบ Separated phase เป็นโครงสร้างที่แผ่นเคลย์เรียงเป็นชั้นแล้วโมเลกุลยาง/โพลิเมอร์จะโอบล้อมเคลย์อยู่ภายนอก
2. โครงสร้างแบบ Exfoliated เป็นโครงสร้างที่โมเลกุลยาง/โพลิเมอร์แทรกอยู่ระหว่างชั้นเคลย์ ทำให้แต่ละชั้นของเคลย์แตกออกและแยกชั้นกันกระจายอยู่ในเนื้อยาง/โพลิเมอร์
3. โครงสร้างแบบ Intercalated เป็นโครงสร้างที่โมเลกุลของยาง/โพลิเมอร์แทรกเข้าไปอยู่ในชั้นเคลย์ ทำให้มีช่องว่างของชั้นเคลย์เพิ่มขึ้น



รูปที่ 1 โครงสร้างของยาง/เคลย์นาโนคอมโพสิต

#### สมบัติของยางนาโนคอมโพสิต

1. โมดูลัสและความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
2. ทนต่อการฉีกขาดสูงขึ้น
3. ลดการซึมผ่านของก๊าซ
4. ทนทานต่อการติดไฟ ทำให้การลามไฟช้าลง
5. สามารถนำไฟฟ้าได้ดี
6. ช่วยปรับปรุงสมบัติการสึกกร่อน (wear)

## การประยุกต์ใช้งานของนาโนคอมโพสิตสำหรับผลิตภัณฑ์ยาง

### ยางล้อ

- ดอกยาง (tread) ช่วยปรับปรุงสมบัติความแข็งแรง การสึกกร่อน ความต้านทานต่อการหมุน ทำให้สามารถช่วยยืดอายุการใช้งาน และประหยัดพลังงาน
- ยางเบส (tread cushion) ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงและสมบัติเชิงพลวัต ทำให้ยางล้อมีโครงสร้างที่แข็งแรง ไม่เสียรูปง่ายและการซับซึ้ที่นุ่มนวลขึ้น
- ยางชั้นใน (Inner liner) ช่วยปรับปรุงสมบัติการเก็บกักก๊าซ ทำให้การรั่วซึมของลมภายในยางล้อลดลง โดยภาพรวมแล้วการใช้ยางนาโนคอมโพสิตจะช่วยลดน้ำหนักของยางล้อลง จึงช่วยประหยัดพลังงาน

### ลูกบอล (sport ball)

- ช่วยเก็บกักก๊าซของยางชั้นใน

### ฉนวนสายไฟที่มียางหุ้ม (cable jackets)

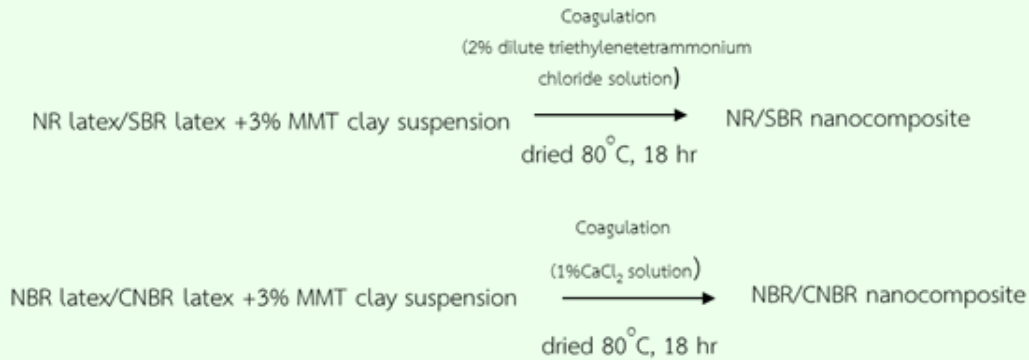
- ช่วยปรับปรุงความต้านทานไฟ/ความร้อน ทำให้ทนทานต่อการติดไฟการลามไฟข้าง

### สายพาน (rubber belts)

- ช่วยปรับปรุงสมบัติการล้า (fatigue strength) ทำให้สายพานมีการแตกข้าง

### ตัวอย่างการใช้งานของเคลย์นาโนคอมโพสิตในเชิงพาณิชย์

Liquan Zhang และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมยางนาโนคอมโพสิต (Rubber/MMT clay) ด้วยวิธี Latex mixing ดังสูตร



ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของยาง/เคลย์นาโนคอมโพสิตและยาง/เคลย์คอมโพสิต

ตัวอย่าง	SBR-clay		NR-clay		NBR-clay	
	MC	NC	MC	NC	MC	NC
Stress at 300% strain (MPa)	1.9	8.1	2.8	11.6	-	-
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	2.5	14.5	20.7	23.3	3.8	14.1
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	400	548	581	400	595	268
ความแข็ง (ShoreA)	51	60	49	54	62	84
ความทนต่อการฉีกขาด (kN/m)	15.3	47.4	26.7	45.2	15.3	40.5

หมายเหตุ MC = Microcomposites

NC = Nanocomposites

จากตารางจะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติมีสมบัติความทนต่อแรงดึงที่ดีอยู่แล้ว ดังนั้นการใช้นาโนเคลือบจะไม่ค่อยมีผลต่อความทนต่อแรงดึงของยางธรรมชาติมากนัก แต่จะส่งผลให้ยางสังเคราะห์มีค่าความทนต่อแรงดึงสูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้นาโนเคลือบจะส่งผลให้ค่าความทนต่อการฉีกขาดทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มีค่าสูงขึ้น

ผู้วิจัยยังได้ศึกษาการซึมผ่านของก๊าซไนโตรเจน (nitrogen permeability) ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ พบว่าการใช้นาโนคอมโพสิตจะช่วยลดการซึมผ่านของก๊าซไนโตรเจนลง และในด้านความทนไฟก็สามารถช่วยหน่วงเวลาการติดไฟ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบการเผาไหม้ (Cone Calorimeter) ของยางสไตรีนบิวทาไดอิน (SBR) และยางสไตรีนบิวทาไดอินคอมโพสิต

ตัวอย่าง	t <sub>ignition</sub> (s)	PHHR (kw/m <sup>2</sup> )(%diff)	t <sub>PHRR</sub> (s)	mean HRR (kw/m <sup>2</sup> )
Pure SBR	18	1987	76	393
Nanocomposite	44	1442 (27%)	117	234
Microcomposites	31	1693 (13%)	85	371

นอกจากนี้ยางนาโนคอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมผสม (N330/นาโนเคลือบ) ในสัดส่วน 30:0, 29:1, 28:2, 27:3, 26:4, 25:5 พบว่า ยางนาโนคอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมผสมในสัดส่วน 25:5 จะมีค่าความล้าต่อการพับงอสูงกว่า  $200 \times 10^4$  รอบ (cycle) แต่ถ้าใช้เขม่าดำเพียงอย่างเดียว (30:0) จะมีค่าความล้าต่อการพับงอ  $8 \times 10^4$  รอบ ดังนั้นยางนาโนคอมโพสิตที่ใช้สารตัวเติมผสมจะช่วยเพิ่มค่าความล้าต่อการพับงอ (flex fatigue) ให้สูงขึ้นอย่างมาก

### ข้อจำกัดในการใช้ยางนาโนคอมโพสิต

1. มีราคาสูง
2. สมบัติต่างๆ เช่น โมดูลัส อาจมีค่าสูงขึ้นไม่มากถ้าใช้สารตัวเติมนาโนเพียงอย่างเดียว เพื่อให้สมบัติด้านนี้ดีขึ้นอาจต้องใช้ร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น

### แหล่งอ้างอิง

กฤษฎา สุชีวะ, สัมมนาวิชาการเทคโนโลยีอย่างใหม่และการประยุกต์ใช้, “Rubber Nanocomposites”, 24 มิถุนายน 2557, กรุงเทพฯ

