

ยางพองน้ำ

ชินรัตน์ เชนวนานิชย์

1. บทนำ

ยางพองน้ำ คือ ยางที่สามารถพองตัวได้ในน้ำ สามารถนำไปใช้เป็นชั้นของกึ่งป้องกันน้ำเข้า (packer) ในงานก่อสร้าง เช่น ทางรถไฟใต้ดินหรือช่องแคบใต้ทะเล ก่อสร้างน้ำขึ้น เป็นต้น ยางประเภทนี้สามารถขยายตัวได้มากกว่า 1.5 เท่าของปริมาตรเดิมเมื่อแช่อยู่ในน้ำ โดยหลักการแล้วยางที่สามารถพองตัวได้ในน้ำสามารถเตรียมได้จากการนำโพลีเมอร์ที่ดูดน้ำได้ในปริมาณมาก (Superabsorbent Polymer หรือ SAP) มาผสมกับยาง

SAP เป็นไฮโดรเจล (hydrogel) ที่โมเลกุลเกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ สามารถดูดน้ำได้อย่างน้อย 100 เท่าของปริมาตรเดิม หรือ 500 เท่าของน้ำหนักเดิม แต่เมื่อแช่อยู่ในน้ำก็ลดความสามารถในการดูดน้ำก็จะลดลง SAP ได้จากการกระบวนการโพลีเมอไรเซชันของกรดอะคริลิกผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้อยู่ในรูปของ polyacrylic acid, sodium salt เช่น โซเดียมโพลีอะคริเลต (sodium polyacrylate หรือ SPA) โซเดียมฟอร์มเมต (sodium formate หรือ SF) หรือ โซเดียมอะซิเตท (sodium acetate หรือ SA) รวมถึง crosslinked sodium polyacrylate สารตัวอื่นๆ ที่ใช้เป็น SAP ได้แก่ polyacrylamide copolymer, ethylene maleic anhydride copolymer, crosslinked carboxy-methyl-cellulose, polyvinyl alcohol copolymers และ crosslinked polyethylene oxide เป็นต้น

การนำ SAP ไปผสมกับยางจะทำให้ยางสามารถดูดน้ำหรือพองตัวในน้ำได้ด้วย แต่ระดับของการพองตัวของยางจะขึ้นอยู่กับปริมาณของ SAP ที่ใส่เข้าไป อย่างไรก็ดี เนื่องจากการเติม SAP ลงไปในยางมักจะส่งผลทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลด้อยลงเพราะยางและ SAP มีระดับความเป็นขั้วที่แตกต่างกันมาก จึงมีอันตรกิริยาต่อกันต่ำ ด้วยเหตุนี้ ผู้ผลิตยางพองน้ำส่วนใหญ่จึงนิยมเติมสารตัวเติมและโพลีเอทิลีนออกไซด์ (polyethylene oxide, PEO) ลงไปด้วยเพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางให้ดีขึ้น โดยทั่วไป การเลือกชนิดของ SAP ที่จะเติมลงไปในยางจะต้องคำนึงถึงค่าตัวแปรความสามารถในการละลาย (solubility parameter, δ) ของยางและ SAP ด้วย เพราะถ้า SAP และยางมีค่าตัวแปรความสามารถในการละลายที่แตกต่างกันมากเกินไปก็จะส่งผลทำให้ทั้ง SAP และยางมีความเข้ากันได้ต่ำ ทำให้ยางพองน้ำที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ยางพองน้ำที่ได้ก็จะมีประสิทธิภาพในการอุ้มน้ำต่ำ (ไม่สามารถอุ้มน้ำได้เป็นระยะเวลานาน) เพราะอนุภาคของ SAP ที่มีความเป็นขั้วสูงจะเกิดอันตรกิริยากับยางน้อย จึงมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวเข้าหาวัฏภาคของน้ำ (water phase) ก่อให้เกิดการแยกตัวของวัฏภาคขึ้น ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรความสามารถในการละลายของยางและ SAP บางชนิด

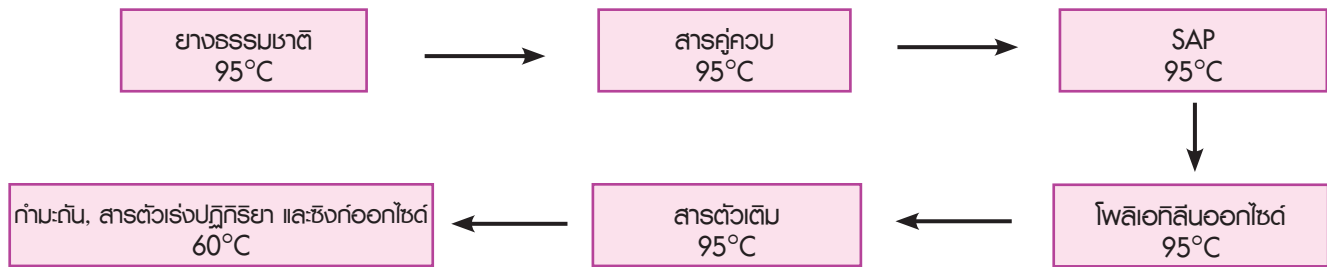
ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรความสามารถในการละลาย (δ) ของยางและ SAP บางชนิด

โพลีเมอร์	δ (cal/cm ³) ^{1/2}
ยางธรรมชาติ (NR)	8.25
ยางโพลิไอโซพรีน (IR)	8.25
ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR)	8.29
ยางบิวทาไดอีน (BR)	8.2
ยางบิวไทล์ (IIR)	7.6
ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนโมโนเมอร์ (EPDM)	8
ยางคลอโรพรีน (CR)	9.26
ยางไนไตรล์ (NBR)	9.92 (40% ACN)
ยางคลอโรซิลิโคนโพลีเอทิลีน (CSM)	9.1
ยางซิลิโคน (MQ)	7.3
ยางฟลูออโรคาร์บอน (FKM)	8.6
โพลีเอทิลีนออกไซด์ (PEO)	9.9

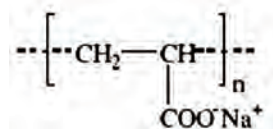
2. ตัวอย่างการเตรียมยางพองน้ำ

2.1 ยางธรรมชาติ

นำยางธรรมชาติไปบดผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Hakke Rheomix 600P) เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์เท่ากับ 30 รอบต่อนาที จากนั้นจึงเติมสารเคมีต่างๆ ลงไปตามลำดับดังนี้ เริ่มต้นด้วยการเติมสารตัวเติม เช่น ไกลซีดีลเมทาคริเลต (glycidyl methacrylate) ลงไป เมื่อผสมให้เข้ากันกับยางแล้ว จึงเติมโซเดียมโพลีอะคริเลตลงไปแล้วตามด้วยโพลีเอทิลีนออกไซด์ (MW = 100,000 g/gmol) และสารตัวเติม ทำยสุดท้ายเติมกำมะถัน สารตัวเร่งปฏิกิริยา (2-mercaptobenzothiazole, MBT) และซิงก์ออกไซด์ ลงไป ผสมให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำยางคอมพาวด์ที่ได้ไปขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C โดยใช้ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์เท่ากับระยะเวลาในการทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ร้อยละ 90 (t_{90})



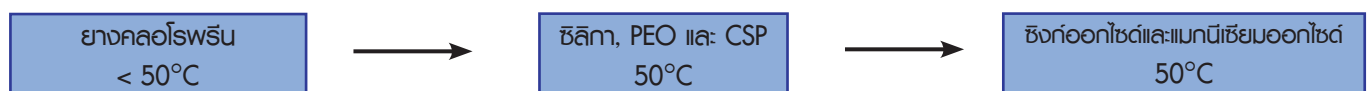
รูปที่ 1 กระบวนการเตรียมยางธรรมชาติที่พองน้ำได้



รูปที่ 2 โครงสร้างของโซเดียมโพลิอะคริเลต

2.2 ยางสังเคราะห์

นำยางสังเคราะห์ เช่น ยางคลอโรพรีน ไปบดผสมในเครื่องผสมระบบปิดโดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์เท่ากับ 30 รอบต่อนาที และควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกิน 50°C จากนั้นจึงใส่ ซิลิกา โพลีเอทิลีนออกไซด์ (MW = 2,000) และโซเดียมโพลิอะคริเลตที่มีการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinked sodium polyacrylate, CSP) ตามลำดับ จากนั้นจึงเติมสารวัลคาไนซ์ (ซิงก์ออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์) บดผสมจนเข้ากันแล้วนำยางคอมพาวด์ออกจากเครื่องผสม รีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด แล้วนำไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นทดสอบด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 150°C



รูปที่ 3 กระบวนการเตรียมยางคลอโรพรีนที่พองน้ำได้

3. การทดสอบการบวมตัว

การหาน้ำหนักการบวมตัว ทำได้โดยการเตรียมชิ้นทดสอบ ขนาด 30 X 30 X 2 มิลลิเมตร ซึ่งน้ำหนักขณะแห้ง จากนั้นจึงนำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำเกลือ (saline water) ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน ตั้งแต่ 0 - 1.6% โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ช่วงเวลาต่างๆ กันจนกระทั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบเริ่มคงที่ (ก่อนที่จะนำชิ้นทดสอบชั่งน้ำหนักจะต้องเช็ดผิวชิ้นทดสอบให้แห้งโดยใช้กระดาษทิชชู) ทำการคำนวณหาค่าการบวมตัวได้โดยใช้สมการข้างล่าง

$$Q = \frac{W_t - W_0}{W_0}$$

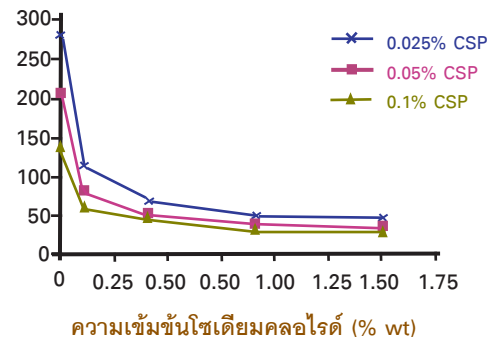
เมื่อ Q คือ อัตราส่วนของการเข้าแทนที่ของน้ำ (water uptake ratio) ส่วน W_t และ W_0 เป็นน้ำหนักของชิ้นทดสอบที่เวลา t และที่สภาวะเริ่มต้น ตามลำดับ

4. สมบัติของยางพองน้ำ

4.1 ยางธรรมชาติ

Park และ Kim ได้เตรียมและทดสอบสมบัติยางธรรมชาติ พองน้ำโดยนำยางธรรมชาติไปผสมกับโซเดียมโพลีอะคริเลตและโพลีเอทิลีนออกไซด์ เนื่องจากโซเดียมโพลีอะคริเลตที่นำมาใช้ได้ผ่านการเชื่อมโยงโมเลกุลมาก่อน ดังนั้น โซเดียมโพลีอะคริเลตจึงไม่ละลายน้ำแต่สามารถดูดน้ำได้ ซึ่งความสามารถในการดูดน้ำของโซเดียมโพลีอะคริเลตจะขึ้นอยู่กับระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง (crosslink density) ที่เกิดขึ้นในโมเลกุลของโซเดียมโพลีอะคริเลตเอง ดังแสดงในรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นว่าอัตราส่วนการดูดน้ำสมดุล (equilibrium water uptake ratio) มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ทั้งนี้เพราะเป็นที่ทราบกันดีว่าการเพิ่มขึ้นของระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงจะทำให้อัตราเร็วในการแพร่ของน้ำในโพลิเมอร์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือส่งผลทำให้การดูดน้ำของโซเดียมโพลีอะคริเลตลดลง

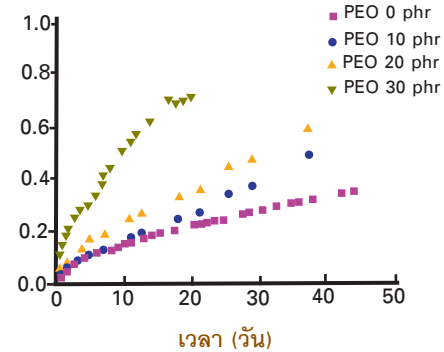
อัตราส่วนการดูดน้ำ (g/g)



ความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์ (% wt)

รูปที่ 4 การบวมตัวของอนุภาคโซเดียมโพลีอะคริเลตในน้ำเกลือ

อัตราส่วนการดูดน้ำ (g/g)

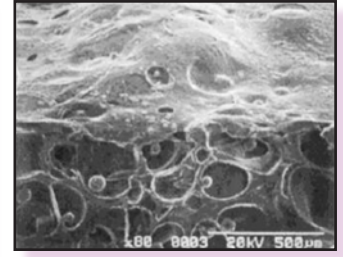
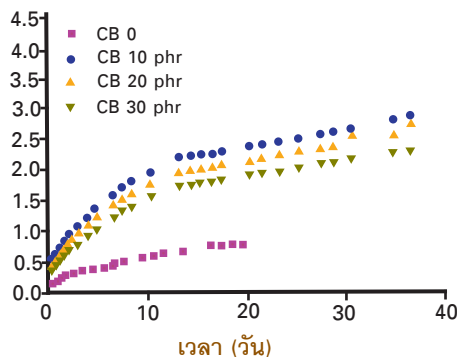


เวลา (วัน)

รูปที่ 5 ผลของโพลิเอทิลีนออกไซด์ต่อการดูดน้ำของยางธรรมชาติพองน้ำ

การใส่โพลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic polymer) เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์เข้าไปในยางธรรมชาติจะช่วยเพิ่มระดับการบวมตัวหรือระดับการดูดน้ำของยางได้มากขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 5) ทั้งนี้เพราะโพลีเอทิลีนออกไซด์ที่แทรกอยู่ในเนื้อยางจะทำหน้าที่เป็นเสมือนทางน้ำไหลให้แกยาง ทำให้น้ำซึมผ่านจากพื้นผิวยางไปสู่โซเดียมโพลีอะคริเลตได้ดียิ่งขึ้น

อัตราส่วนการดูดน้ำ (g/g)



รูปที่ 6 ผลของเขม่าดำต่อระดับการดูดน้ำของยางธรรมชาติพองน้ำที่มีโพลิเอทิลีนออกไซด์ 30 phr

รูปที่ 7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของยางธรรมชาติพองน้ำ (1) ไม่มีเขม่าดำ และ (2) มีเขม่าดำ

รูปที่ 6 แสดงผลของเขม่าดำต่อระดับการดูดน้ำของยางธรรมชาติพองน้ำที่มีโพลิเอทิลีนออกไซด์ 30 phr จากรูปพบว่า การเติมเขม่าดำลงไปปริมาณ 10 phr ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการดูดน้ำของยางเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำให้สูงกว่า 10 phr กลับพบว่าประสิทธิภาพในการดูดน้ำของยางเริ่มมีแนวโน้มลดลง การเพิ่มขึ้นของปริมาณการดูดน้ำในช่วงที่เติมเขม่าดำลงไปปริมาณที่ต่ำกว่า 10 phr นั้นคาดว่าน่าจะเกิดจากการเข้าไปขัดขวางการหลุดออกของอนุภาคซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ที่อยู่บนพื้นผิวยาง ทั้งนี้เพราะการเติมเขม่าดำลงไปมักส่งผลทำให้ยางมีค่าโมดูลัสและความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลในเชิงลบต่อระดับการดูดน้ำของยางพองน้ำ แต่ในเวลาเดียวกันนั้น อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของยางและเขม่าดำก็ก่อให้เกิดโครงสร้างตาข่ายที่แข็งแรงที่ยึดเกาะแอกกรีเกตของเขม่าดำเข้าด้วยกัน ซึ่งการเกาะกันเป็นโครงสร้างของเขม่าดำอาจส่งผลทั้งทางบวกและทางลบกับระดับการดูดน้ำของยางพองน้ำ ทั้งนี้ เนื่องจากการเกาะกันของแอกกรีเกตเขม่าดำจะช่วยป้องกันการเคลื่อนที่หรือการหลุดออกไปของอนุภาคของซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ที่อยู่บนบริเวณพื้นผิวของยาง ทำให้ยางสามารถดูดน้ำได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งคำอธิบายข้างต้นก็ตรงกับผลที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่แสดงในรูปที่ 7 จากรูปพบว่า พื้นผิวของยางที่ไม่มีเขม่าดำจะมีรูพรุนหรือช่องว่างอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้เกิดจากการหลุดออกไปของอนุภาคซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ในระหว่างที่แช่น้ำนั่นเอง แต่ในกรณีของยางที่มีการเติมเขม่าดำจะพบว่าไม่เกิดรูพรุนขึ้นบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบแต่อย่างใด แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเติมเขม่าดำมีส่วนช่วยในการป้องกันไม่ให้อนุภาคซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์หลุดออกไปจากพื้นผิวของยาง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำให้สูงขึ้น (>10 phr) ผลของการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและการขัดขวางการแพร่ของเขม่าดำจะส่งผลทำให้ยางพองน้ำมีประสิทธิภาพในการดูดน้ำลดลง

4.2 ยางสังเคราะห์

4.2.1 ยางคลอโรพรีน (CR)

จากการนำยางคลอโรพรีนไปผสมกับซิลิกาและโพลิเอทิลีนออกไซด์อย่างละ 30 phr แล้วปรับเปลี่ยนปริมาณของซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ที่มีการเชื่อมโยงโมเลกุลจาก 0-100 phr ก่อนที่จะนำยางพองน้ำที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์จะส่งผลทำให้ความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของยางลดลงอันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของตำหนิ (flaws) ที่มีอยู่ในยางนั่นเอง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมที่มีความแข็งสูงกว่ายาง ดังนั้น การเพิ่มปริมาณของซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์จึงส่งผลทำให้ความแข็งแรงและโมดูลัสของยางสูงขึ้น เมื่อพิจารณาผลของซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ต่อสมบัติของยางหลังการบวมตัวพบว่า การเพิ่มปริมาณซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ส่งผลทำให้ยางเกิดการบวมตัวได้มากขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันการเพิ่มปริมาณซีดีเอ็มโพลิเอทิลีนออกไซด์ดังกล่าวก็ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลงอย่างรวดเร็วด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 2 พลังของโซเดียมโพลิอะคริเลตต่อสมบัติเชิงกลของยางคลอโรพรีน

สมบัติ	ปริมาณโซเดียมโพลิอะคริเลต (phr)					
	ก่อนบวมตัว			หลังบวมตัว		
	0	50	100	0	50	100
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	7.8	5.6	4.2	7.4	0.45	0.1
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	808	640	583	1333	332	150
โมดูลัส (MPa)	20	25	27.5	0.55	0.16	0.1
ความแข็ง (Shore A)	78	84	87	71	11	4
ระดับการบวมตัว	-	-	-	0	7.5	16.2

ตารางที่ 3 พลังของโพลิเอทิลีนออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลของยางคลอโรพรีน

สมบัติ	ปริมาณโพลิเอทิลีนออกไซด์ (phr)					
	ก่อนบวมตัว			หลังบวมตัว		
	0	10	50	0	10	50
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	9.4	9.0	3.2	0.9	0.55	0.43
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	1206	1070	591	395	350	380
โมดูลัส (MPa)	12.2	26.2	20.1	0.22	0.18	0.16
ความแข็ง (Shore A)	76	86	80	21	13	10
ระดับการบวมตัว	-	-	-	4.8	6.8	7.6

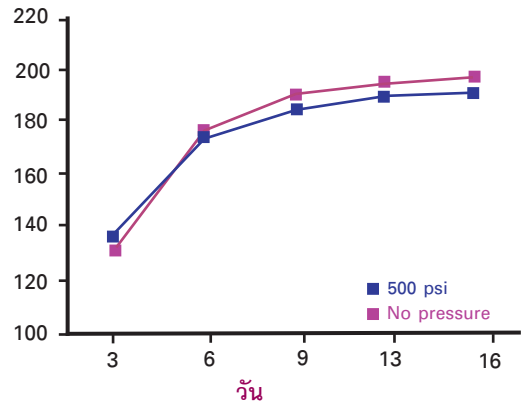
นอกจากผลศึกษาผลของโซเดียมโพลิอะคริเลตแล้ว Wang และคณะ ยังได้ศึกษาผลของปริมาณโพลิเอทิลีนออกไซด์ต่อสมบัติต่างๆ ของยางพองน้ำที่มีโซเดียมโพลิอะคริเลตและซิลิกาเป็นส่วนผสมเท่ากับ 0, 10 และ 50 phr ตามลำดับ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3 จากตารางพบว่าทั้งความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณโพลิเอทิลีนออกไซด์ ซึ่งจะเห็นการลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติมลงไปปริมาณที่สูงกว่า 10 phr อย่างไรก็ดี การเติมโพลิเอทิลีนออกไซด์ลงไปก็ส่งผลทำให้ยางมีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (ยางมีค่าโมดูลัสและความแข็งแรงสูงสุดเมื่อเติมโพลิเอทิลีนออกไซด์ลงไป 10 phr) ทั้งนี้ Wang และคณะ ได้อธิบายว่าการเติมโพลิเอทิลีนออกไซด์ลงไปในยางส่งผลทำให้ระดับความเป็นผลึก (crystallinity) ของยางเปลี่ยนแปลงไป โดยระดับความเป็นผลึกของยางคลอโรพรีนจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากเมื่อเติมโพลิเอทิลีนออกไซด์ลงไป 10 phr จึงส่งผลทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่เมื่อเติมโพลิเอทิลีนออกไซด์ลงไปปริมาณที่สูงกว่านี้ก็จะมีผลทำให้ระดับการตกผลึกของยางลดลง ทำให้ยางมีระดับการเชื่อมโยงลดลงด้วย อีกทั้งตัวโพลิเอทิลีนออกไซด์เองก็เปรียบเสมือนตำหนิที่มีอยู่ในเนื้อยางจึงส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางด้อยลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะสมบัติความทนต่อแรงดึง เมื่อพิจารณาผลของโพลิเอทิลีนออกไซด์ต่อสมบัติของยางหลังการบวมตัวพบว่าค่าความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของยางมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่าก่อนการบวมตัว อย่างไรก็ดี จะสังเกตเห็นว่าสมบัติเชิงกลของยางหลังการบวมตัวด้อยลงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการบวมตัว แม้ว่าการเพิ่มปริมาณของโพลิเอทิลีนออกไซด์จะส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางหลังการบวมตัวด้อยลงอย่างต่อเนื่อง แต่การเพิ่มปริมาณของโพลิเอทิลีนออกไซด์ดังกล่าวก็ส่งผลทำให้ยางสามารถดูดน้ำได้มากขึ้น

4.2.2 ยางไนไทรล์ (NBR)

McElfresh และ Cuo ศึกษาความสามารถในการดูดน้ำของยางไนไทรล์ภายใต้สภาวะต่างๆ เพื่อนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตซีลในหลุมขุดเจาะ (downhole) น้ำมันที่อยู่ในทะเล ทั้งนี้ เนื่องจากในระหว่างการใช้งาน ยางซีลชนิดนี้นอกจากจะต้องสัมผัสกับน้ำมันแล้ว ยังต้องได้รับแรงดันที่สูงมากด้วย ดังนั้นยางที่นำมาใช้ในการผลิตจะต้องทนน้ำมัน ความร้อนและความดันหรือแรงกดของพื้นดินหรือน้ำทะเลได้เป็นอย่างดี

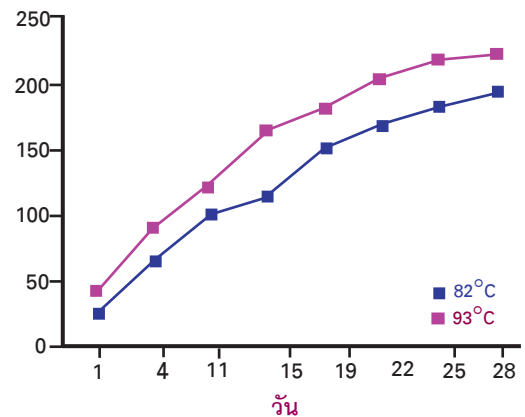
ในการใช้งานซีลในหลุมขุดเจาะ ยางจะต้องเกิดการบวมตัวภายใต้ความดันที่เกิดจากแรงกดของน้ำ ด้วยเหตุนี้ ทีมวิจัยจึงศึกษาผลของความดันของน้ำต่ออัตราการบวมตัวและสัดส่วนการบวมตัวของยางไนไทรล์ที่ผสมกับโซเดียมอะซิเตท โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 82°C ในสารละลายเกลือเข้มข้น 3.5% ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 8 จากรูปพบว่าความดันของน้ำในช่วง 0 ถึง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออัตราการบวมตัวและสัดส่วนการบวมตัวของยางไนไทรล์

น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%)



รูปที่ 8 ผลของความดันที่มีต่อการบวมตัวของยางไนไทรล์

น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%)



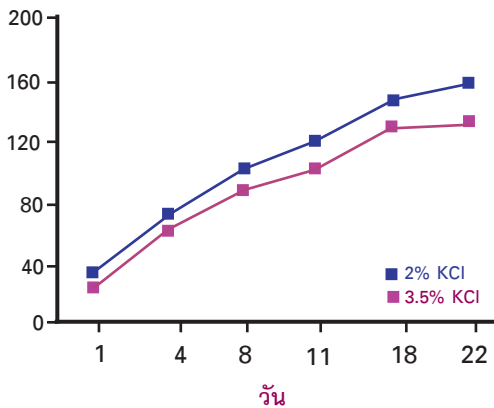
รูปที่ 9 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการบวมตัวของยางไนไทรล์

รูปที่ 9 แสดงผลของอุณหภูมิต่อการบวมตัว (น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น) ของยางไนไตรล์ที่แช่ในสารละลายเกลือเข้มข้น 3.5% ซึ่งจะเห็นว่า การบวมตัวของยางที่อุณหภูมิ 93°C มีค่าสูงกว่าการบวมตัวของยางที่อุณหภูมิ 82°C เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้โมเลกุลของน้ำมีพลังงานจลน์มากขึ้น โมเลกุลเหล่านี้จึงเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าที่ อุณหภูมิต่ำการแพร่จึงเกิดขึ้นได้เร็ว การบวมตัวจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ตามระดับของอุณหภูมิ

นอกจากอุณหภูมิซึ่งมีผลต่ออัตราการแพร่ที่ทำให้ระดับการ บวมตัวของยางเพิ่มขึ้นแล้ว ความเข้มข้นและชนิดของสารละลายก็มี ผลต่อการแพร่และการบวมตัวของยางเช่นกัน รูปที่ 10 แสดงการ เปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของยางไนไตรล์เมื่อปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์จาก 2% เป็น 3.5% จากรูปพบว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำสามารถเกิดการแพร่เข้าสู่ ชิ้นตัวอย่างได้เร็วกว่า (ทำให้ยางเกิดการบวมตัวได้มากกว่า) ส่วนรูป ที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของยางไนไตรล์ เมื่อใช้โซเดียมฟอเมทเป็นสารดูดน้ำและแช่ยางในสารละลายเกลือ ชนิดต่างๆ (NaCl, CaCl₂ และ KCl) ที่ความเข้มข้น 3.5% อุณหภูมิ 82°C จากรูปจะพบว่าอัตราของการบวมตัวของยางไนไตรล์ในสารละลาย ชนิดต่างๆ เป็นไปตามลำดับดังนี้

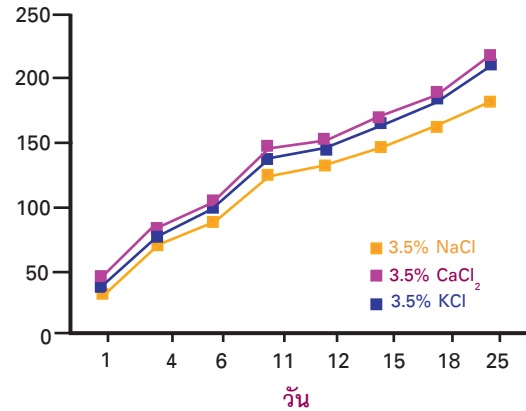


น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%)



รูปที่ 10 ผลของความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอไรด์ ต่อการบวมตัวของยางไนไตรล์

น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (%)



รูปที่ 11 ผลของเกลือชนิดต่างๆ ต่อการบวมตัวของยางไนไตรล์

5. สรุป

ยางที่ผสมกับโพลิเมอร์ดูดน้ำ (SAP) สามารถดูดน้ำและ พองตัวได้ในน้ำ ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการพองตัวหรือระดับของการ พองตัวของยางขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่

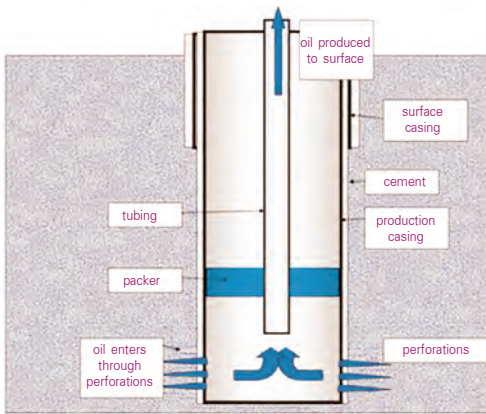
1. ชนิดของยาง
2. ระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงในยาง
3. ชนิดและปริมาณของโพลิเมอร์ดูดน้ำ
4. ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงของโพลิเมอร์ดูดน้ำ
5. ชนิดและปริมาณของสารตัวเติมหรือสารเติมแต่งบางชนิด เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์ เป็นต้น
6. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่แช่ยาง
7. อุณหภูมิ

6. การใช้ยางพองน้ำ

ยางพองน้ำหรือยางที่ดูดน้ำได้นั้นสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางทั้งในงานบนบกและใต้ทะเล



รูปที่ 12 ท่อ Freecap 2 ที่ใช้งานแทนที่ปูนซีเมนต์



รูปที่ 13 การใช้งาน packer ในบ่อน้ำมัน

รูปที่ 12 แสดงการนำยางพองน้ำมาใช้งานเป็นตัวปิดกั้น (packer) รุ่น Freecap 2 แทนที่ปูนซีเมนต์ในท่อใต้ดินและรูปที่ 13 แสดงการใช้งานตัวปิดกั้นในบ่อน้ำมัน ซึ่งตัวปิดกั้นนี้ทำหน้าที่ควบคุมความดันและการไหลของน้ำมัน ป้องกันการเกิดสภาวะกรด หรือเป็นสนิมและลดการปะปนของน้ำก่อนเข้าสู่กระบวนการกลั่นน้ำมัน เนื่องจากการดูดน้ำมันออกจากบ่อน้ำมันในทะเล หรือในมหาสมุทรจะมีน้ำปนมากับน้ำมัน ยางชนิดนี้สามารถขยายตัวออกได้ 2 ถึง 3 เท่าของขนาดยางเดิมเมื่อสัมผัสกับน้ำแต่ไม่ดูดน้ำมัน ทำให้น้ำมันยังสามารถไหลผ่านไปได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำยางพองน้ำนี้ไปใช้ในท่อชุดเจาะน้ำมัน ท่อส่งน้ำมันหรืองานอุโมงค์ใต้ดินและใต้น้ำ

เอกสารอ้างอิง

1. Wang, G., Li M. and Xinfang, C., *J. App. Pol. Sci*, **68**, 1219-1225. (1998)
2. Park, J. H. and Kim, D., *J. App. Pol. Sci*, **80**, 115-121. (2001)
3. McElfresh, P. and Guo, L., *Rubber World*, **238(2)**, 41-44. (2008)
4. Blow, C.M. and Hepburn, C., “Rubber Technology and Manufacture” Second Edition, London, 370-371, 1982.
5. Sperling, L.H. “Introduction to physical polymer science” Second Edition, Pennsylvania, 68, 1992.
6. <http://www.epmag.com>
7. <http://www.shell.com>
8. <http://www.swellfix.net>
9. <http://tamintl.com>
10. <http://en.wikipedia.org>

ธันรัตน์ เชาวนอนิเชย์

การศึกษา: ปริญญาโท (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตปัตตานี)

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่สารสนเทศ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล