

แฟกทิกซ์ (factice)

วันสิรินทร์ อินทร์ดียะ และ ดารณิ เจริญสุข

แฟกทิกซ์ คือ น้ำมันไม้มันที่ได้จากการทำปฏิกิริยารีดอกซ์ในของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ โดยใช้ทำกับเกลือหรือสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ (เช่น H_2S และ SCl_2) เป็นสารรีดิวซ์ การเติมแฟกทิกซ์ในกระบวนการผลิตนั้นเพื่อจุดประสงค์เฉพาะบางประการ เช่น ช่วยประหยัดพลังงานระหว่างการผสมเคมี เพิ่มความแข็งแรงให้กับยางคอมพาวด์ เพิ่มเสถียรภาพทางรูปร่างให้กับยางที่ขึ้นรูปด้วยการอัดผ่านดายหรือที่เรียกว่าเอกซ์ทรูเดต (extrudate) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีดังกล่าวที่สำคัญ เช่น ท่อยาง ยางหุ้มสายเคเบิล ยางขอบกระบอก ยางรัดของ ชีลยาง และยางโอริง

แฟกทิกซ์ที่นิยมนำมาใช้ในงานในอุตสาหกรรมยางมีหลายชนิด ทั้งแฟกทิกซ์สีน้ำตาล สีเหลือง และสีขาว ซึ่งการเลือกใช้แฟกทิกซ์ชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของยาง วิธีการขึ้นรูป เป็นต้น ดังนั้นในบทความนี้ คณะผู้เขียนจึงได้นำเสนอข้อมูล ผลการศึกษาความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับบทบาทหน้าที่ ตลอดจนการเลือกแฟกทิกซ์ชนิดและประเภทต่างๆ ตลอดจนเสนอแนะปริมาณที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้งาน

ข้อดีของการใช้แฟกทิกซ์ในอุตสาหกรรมยางมีดังนี้

- สามารถใช้ได้กับยางเกือบทุกชนิด
- ช่วยให้สารเติมแต่งหรือสารเคมีกระจายตัวได้ดี ทำให้ประหยัดเวลาในขั้นตอนการผสม
- สามารถควบคุมความหนาและความเรียบของผลิตภัณฑ์ได้จากการขึ้นรูปด้วยการรีด (calendering) ช่วยลดการเกิดรอย (calender grain) และป้องกันการหดตัว (shrinkage) ของชิ้นงาน
- ช่วยลดการบวมของน้ำมันและกำมะถันออกมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์
- ช่วยปรับปรุงพื้นผิวของชิ้นงานให้เงางาม
- ลดการบวมตัวของยางเมื่ออัดผ่านดาย (die swell)

แม้ว่าการเติมแฟกทิกซ์จะก่อให้เกิดผลดีหลายประการดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่การเติมแฟกทิกซ์ในปริมาณที่สูงมากเกินไปก็อาจทำให้สมบัติบางประการของยางด้อยลง เช่น ความทนต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการสึกกร่อน การเสถียรภาพารหลังกด ดังนั้นการพิจารณาถึงปริมาณการใช้งานที่เหมาะสมในยางชนิดต่างๆ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการไม่ควรมองข้าม ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างปริมาณแฟกทิกซ์ที่ใช้ในยางชนิดต่างๆ

ชนิดของยาง	ปริมาณที่ใช้ (phr)
ยางธรรมชาติ ยางไอโซพรีน ยางสไตรีนบิวทาไดอีน	10-30
ยางโพลีเอทรีล	5-10
ยางคลอโรพรีน ยางอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีน	10
ยางโพลีเอทรีลคลอโรลฟีเนต	10
ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน ยางบิวไทล์	3-20
ยางโพลียูรีเทนที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน	3-5
ยางคอมพาวด์ที่วัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์	5-15

ตารางที่ 2 ตัวอย่างปริมาณแฟกทิกซ์ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณที่ใช้ (phr)
ยางลบ	200-400
ยางปิดผิวลูกกลิ้ง (roller covering) ที่ต้องการความแข็งแรงปานกลาง-แข็ง	10-20
ยางปิดผิวลูกกลิ้งยาง ที่ต้องการความแข็งแรงต่ำ-ปานกลาง	20-70
ยางปิดผิวลูกกลิ้งยาง ที่ต้องการความแข็งแรงต่ำ	70-100
การเคลือบสิ่งทอ (textile coating)	10-20
อีโพนัด	5-30
ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความใส (transparent article)	10-50



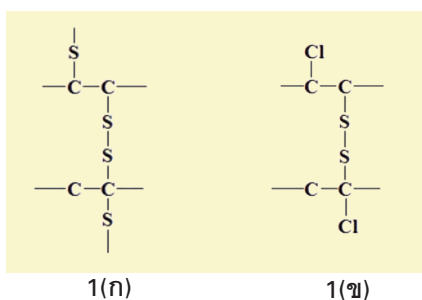
ชนิดและเกรดของแฟกทิกซ์

โดยทั่วไปนั้นชนิดของแฟกทิกซ์สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบ่งตามสี (color) และแบ่งตามค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตน (acetone extract) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การแบ่งเกรดของแฟกทิกซ์ตามสี แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

1. แฟกทิกซ์สีน้ำตาล ผลิตจากการนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับกำมะถันหรืออาจใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาและใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ประมาณ 120-170°C (ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2)

2. แฟกทิกซ์สีขาว ผลิตจากการนำน้ำมันมาทำปฏิกิริยากับกำมะถันคลอไรด์ (หรือสารให้กำมะถัน) และวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 10°C (ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2)



รูปที่ 1 โครงสร้างการเชื่อมโยงโมเลกุลของแฟกทิกซ์เมื่อใช้ (ก) กำมะถัน (ข) กำมะถันคลอไรด์



รูปที่ 2 สีของแฟกทิกซ์

การแบ่งเกรดของแฟกทิกซ์ตามค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตน (acetone extract)

การแบ่งเกรดของแฟกทิกซ์ด้วยวิธีนี้สามารถทำได้โดยการสกัดเพื่อแยกปริมาณกำมะถันอิสระ (free sulfur) หรือกำมะถันที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออกจากแฟกทิกซ์ด้วยอะซิโตน ทั้งนี้ปริมาณกำมะถันอิสระที่มีอยู่ในแฟกทิกซ์จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์อย่างไร เพราะหากกำมะถันอิสระจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ของยางทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์มากเกินไป (overcure) ในทางอุตสาหกรรมมักจะกำหนดปริมาณกำมะถันอิสระในแฟกทิกซ์ไว้ไม่เกินร้อยละ 2 โดยทั่วไปการแบ่งเกรดของแฟกทิกซ์ตามค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตนจะนิยมใช้

กับแฟกทิกซ์สีน้ำตาล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เกรด ได้แก่

1. แฟกทิกซ์เกรด 1 มีค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตนไม่เกินร้อยละ 20
2. แฟกทิกซ์เกรด 2 มีค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตนอยู่ระหว่างร้อยละ 20-35
3. แฟกทิกซ์เกรด 3 มีค่าที่ได้จากการสกัดด้วยอะซิโตนสูงกว่าร้อยละ 35

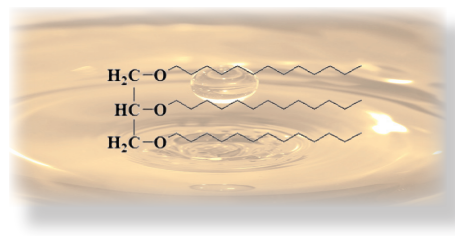
ส่วนแฟกทิกซ์สีขาวจะนิยมแบ่งเกรดตามปริมาณของเถ้า (ash content) ออกเป็น 3 เกรด ได้แก่

1. Pure white มีปริมาณของสารที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponified matter) และเถ้าไม่เกินร้อยละ 10
2. Medium white มีปริมาณของสารที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับด่าง และเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 10-20
3. Commercial white มีปริมาณของสารที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับด่าง และเถ้ามากกว่าร้อยละ 20

โดยทั่วไปแล้วนั้นลักษณะทางกายภาพและสมบัติทั่วไปของแฟกทิกซ์ชนิดต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมยางแสดงในตารางที่ 3

กระบวนการผลิตแฟกทิกซ์

แฟกทิกซ์ผลิตได้จากการนำน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ชนิดไม่อิ่มตัว (มีพันธะคู่ในโมเลกุล) มาทำปฏิกิริยากับกำมะถันหรือสารที่ให้กำมะถันเพื่อให้โมเลกุลของน้ำมันเหล่านี้เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติเช่นเดียวกับการวัลคาไนซ์ยาง โดยปริมาณกำมะถันที่ใช้ในการวัลคาไนซ์จะอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 5-20 โดยน้ำหนักของน้ำมัน ทั้งนี้โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันเป็นสารไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) มีสูตรโครงสร้างเคมีที่เกิดจาก C_3H_5 เชื่อมต่อกับกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 10-30 อะตอมดังแสดงในรูปที่ 3 โดยน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะมีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 12-18 อะตอม น้ำมันพืชที่นิยมใช้ในการผลิตแฟกทิกซ์ ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil) น้ำมันละหุ่ง (castor oil) น้ำมันแครมเบ (crambe oil) น้ำมันเมล็ดเรพ (rapeseed oil) และน้ำมันมิโดว์ฟอม (meadowfoam oil) ดังแสดงในตารางที่ 4



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

สารที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับด่าง (unsaponified matter) คือ สารที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาสaponification ได้แก่ สารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน และแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และคลอเรสเตอรอล

*สaponification คือ ปฏิกิริยาระหว่างเอสเทอร์กับด่างแก่ ให้ผลิตภัณฑ์เป็นแอลกอฮอล์และเกลือของกรดอินทรีย์ สามารถคำนวณได้จากจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันปริมาณ 1 กรัม

ตารางที่ 3 ลักษณะทั่วไปของแฟกทิสชนิดต่างๆ

สี/การใช้งานของแฟกทิส	น้ำมันมิเนอรัล (%)	ปริมาณกำมะถันทั้งหมด (%)	ปริมาณกำมะถันอิสระ (%)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ปริมาณเถ้า (%max)
แฟกทิสสีน้ำตาล	0	10-11	0.2	1.0	2.0
	0	13-14	0.2-1.5	1.0	0.2-1.5
	0	16-18	0.6-1.1	1.1	0.2
	0	23	4.0	1.1	0.2
	15	14	2.0	1.0	1.5
	30	11	0.45	1.0	0.2
แฟกทิสสีเหลือง	0	16	1-1.8	1.0	0.1
	20	13-14	0.85	1.0	0.1
แฟกทิสชนิดพิเศษสำหรับยางมีขั้ว (CR/NBR)	0	8-9	0.1	1.1	4.0
	0	12-13	0.3-1.1	1.1	0.2
	0	20-21	6.0	1.1	0.2
การผลิตยางลบ	0	3-4	0.1	1.1	4
	14	20	0.1	1.2	19
	18	24	0.1	1.2	16
การผลิตผลิตภัณฑ์ทั่วไป	0	9.0	0.1	1.1	5.0
การผลิตผลิตภัณฑ์พิเศษ	0	17-18	0	1.0	0.2

ตารางที่ 4 ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของกรดไขมัน		น้ำมันถั่วเหลือง	น้ำมันละหุ่ง	น้ำมันแคโรบ	น้ำมันเมล็ดเรพ	น้ำมันมีโดวีโฟม
< C ₁₈		10.0	1.0	2.3	2.5	0.5
18:0	stearic acid	4.0	1.0	1.0	1.0	-
18:1	oleic acid	22.0	3.0	16.0	14.5	1.4
18:2	linoleic acid	54.0	4.2	9.0	15.2	0.5
18:3	linolenic acid	7.2	0.3	6.0	10.0	-
20:0	arachidic acid	-	0.3	1.0	0.6	0.5
20:1 (Δ5)	cis-5-eicosenoic acid	-	-	-	-	64.0
20:1 (Δ11)	cis-11-eicosenoic acid	-	-	3.5	9.5	-
22:1 (Δ5)	cis-5-docosenoic acid	-	-	-	-	3.0
22:1 (Δ13)	cis-13-docosenoic acid	-	-	55	43.0	10.0
22:2 (Δ5,13)	cis-5, cis-13-docosenoic acid	-	-	-	-	19.0

หมายเหตุ: โครงสร้างของกรดไขมันแสดงจำนวนคาร์บอนและจำนวนพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุล (A:B)

นอกจากนี้การนำน้ำมันมาผลิตพลาสติกจะสามารถพิจารณาจากค่าไอโอดีน (Iodine number)² ของน้ำมัน ซึ่งน้ำมันที่นิยมใช้ในการผลิตพลาสติกจะมีค่าไอโอดีนอยู่ในช่วง 80-185 กรัมต่อ 100 กรัมของน้ำมัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ในปี ค.ศ. 1990 Erhan และ Kleman ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของพลาสติกสีน้ำตาลและสีขาวที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 5 ค่าไอโอดีนของน้ำมันที่ใช้ในการผลิตพลาสติก

ชนิดของน้ำมัน	ค่าไอโอดีน (g/100g)
น้ำมันมะกอก	80-88
น้ำมันละหุ่ง	82-90
น้ำมันเมล็ดเรฟ	97-108
น้ำมันข้าวโพด	103-125
น้ำมันดอกทานตะวัน	120-140
น้ำมันถั่วเหลือง	120-141
น้ำมันลินซีด	175-185

ตารางที่ 6 สมบัติของพลาสติกสีน้ำตาล (กำหนด 20 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 160°C)

ชนิดของน้ำมัน	เวลาเกิดเจล (gel time) (นาท)	ความแข็ง (Shore A)	สารที่สกัดได้ด้วย อะซิโตน (%)	ปริมาณกำมะถันอิสระ (%)	ปริมาณเถ้า (%)
น้ำมันมีโดวีโพน	80	30	27.3	1.2	0.02
น้ำมันเมล็ดเรฟ	90	19	22.2	1.4	น้อยมาก
น้ำมันแควมเบ	100	23	31.6	1.5	น้อยมาก
น้ำมันถั่วเหลือง	85	n.a.	41.8	0.39	น้อยมาก
น้ำมันละหุ่ง	125	15	85	2.67	น้อยมาก

หมายเหตุ: n.a. ไม่สามารถวัดค่าความแข็งได้เนื่องจากพลาสติกนิ่มมาก

ตารางที่ 7 สมบัติของพลาสติกสีขาว (กำหนดคลอไรด์ 20 phr ร่วมกับแมกนีเซียมออกไซด์ 5 phr อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 10°C)

ชนิดของน้ำมัน	เวลาเกิดเจล (gel time) (นาท)	ความแข็ง (Shore A)	สารที่สกัดได้ด้วย อะซิโตน (%)	ปริมาณกำมะถันอิสระ (%)	ปริมาณเถ้า (%)
น้ำมันมีโดวีโพน	26	45	6.2	0.11	4.31
น้ำมันเมล็ดเรฟ	70	38	8.3	0.30	4.01

² ค่าไอโอดีน (Iodine number) คือ จำนวนกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหรือไขมัน 100 กรัม ถ้าค่าไอโอดีนสูงแสดงว่าน้ำมันหรือไขมันนั้นมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

จากตารางที่ 6 พบว่าแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันมีโดโรโฟมมีความแข็งแรงสูงกว่าแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันพืชชนิดอื่น ทางผู้วิจัยได้รายงานไว้ว่า สีของแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันมีโดโรโฟมจะเป็นสีน้ำตาลใส ส่วนแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรพ น้ำมันแครมเบ น้ำมันละหุ่ง และน้ำมันถั่วเหลืองจะมีสีน้ำตาลเข้ม (น้ำตาลเกือบดำ) นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ศึกษาผลของการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับกำมะถันในการผลิตแฟกทิสจากน้ำมันมีโดโรโฟมและน้ำมันเมล็ดเรพ พบว่าการเติมสารประกอบเอมีนทำให้แฟกทิสมีความแข็งแรงสูงขึ้นและสีของแฟกทิสมีความสว่างขึ้น แต่เมื่อใช้ซิงก์ออกไซด์หรือซิงก์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริกเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา กลับพบว่าแฟกทิสที่ผลิตได้มีความแข็งแรงลดลง

จากตารางที่ 7 พบว่าแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันมีโดโรโฟมมีความแข็งแรงสูงกว่า แต่มีค่าปริมาณสารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตนและปริมาณกำมะถันอิสระต่ำกว่าแฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมันเมล็ดเรพ

ในปี ค.ศ. 1995 Nag และคณะ ได้ศึกษาการใช้แฟกทิสที่ผลิตจากน้ำมัน *Putranjiva roxburghii*³ เพื่อใช้เป็นสารช่วยในการผลิต (processing aid) ในยางธรรมชาติ โดยมีสูตรผสมเคมียาง สมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล ดังแสดงในตารางที่ 8

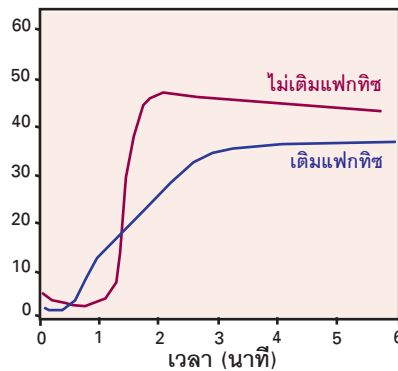
ตารางที่ 8 สูตรผสมเคมียาง สมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณที่ใช้ (phr)	
	สูตร 1	สูตร 2
ยางธรรมชาติ	100	100
ซิงก์ออกไซด์	5	5
กรดสเตียริก	2.5	2.5
แฟกทิส	-	10
ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทโอะไซลซัลฟิโนไมด์ (CBS)	0.8	0.8
กำมะถัน	2.0	2.0
สมบัติการวัลคาไนซ์		
แรงบิดต่ำสุด (dN.m)	3	2
แรงบิดสูงสุด (dN.m)	47	37
เวลาสกรอร์ช (min)	3	1.5
t ₉₀ (min)	4	7
สมบัติเชิงกล		
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	21.5	3
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	1,090	210

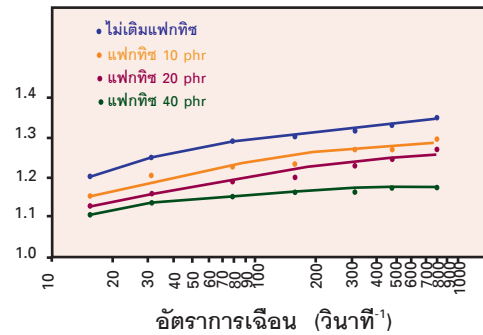
จากตารางที่ 8 จะเห็นว่ายางธรรมชาติสูตรที่มีการเติมแฟกทิสจะให้เวลาสกรอร์ชสั้นกว่าสูตรที่ไม่เติมแฟกทิส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้แฟกทิสอาจเสี่ยงที่จะทำให้เกิดยางตายระหว่างกระบวนการผลิตได้ และมีอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ลดลง คือ ยางมีระยะเวลาการวัลคาไนซ์ (t₉₀) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาสมบัติการวัลคาไนซ์ของยาง (ดังรูปที่ 4) พบว่ายางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีการเติมแฟกทิสสามารถช่วยยืดระยะเวลาการวัลคาไนซ์ และช่วยลดอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ลง ดังนั้นการใช้แฟกทิสจึงเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องเอกซ์ทรูดหรือเครื่องคาร์เลนเดอร์ เมื่อนำมาทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาด พบว่ายางธรรมชาติสูตรที่มีการเติมแฟกทิสในปริมาณ 10 phr ส่งผลให้สมบัติดังกล่าวข้างต้นมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าแฟกทิสสามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ได้ เพราะช่วยลดความแข็งแรงให้ต่ำลงและปรับปรุงกระบวนการผลิตของวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้รายงานไว้ว่า การใช้แฟกทิสสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติความเสถียรทางความร้อนของยางคอมพาวด์และยังช่วยทำให้สามารถขึ้นรูปยางธรรมชาติที่อุณหภูมิสูงได้อีกด้วย

³ *Putranjiva roxburghii* (Euphorbiaceae) เป็นพืชพื้นเมืองของอินเดีย ซึ่งน้ำมันชนิดนี้มีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอมอยู่ประมาณร้อยละ 93 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด

แรงบิด (dN.m)



สัดส่วนการบวมตัว



รูปที่ 4 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติคอมพาวด์

รูปที่ 5 พลวัตการเฉือน (shear rate) ที่มีต่อสัดส่วนการบวมตัว (swelling ratio) ของยาง SBR เมื่อใช้แฟกทิสที่ปริมาณต่างๆ

นอกจากการใช้แฟกทิสเพื่อทำหน้าที่เป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตในยางธรรมชาติแล้ว ยังนิยมใช้แฟกทิสเพื่อปรับปรุงลักษณะผิวของผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องเอ็กซ์ทรูด (extruder) ด้วย ซึ่งการเติมแฟกทิสลงไปในยางจะช่วยให้ยางที่ได้มีผิวเรียบ ลดการเกิดการบวมตัวของผลิตภัณฑ์ที่อัดผ่านดาย (die swell)⁴

ในปี ค.ศ. 1987 Botros และคณะ ได้ศึกษาการใช้แฟกทิส (ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและใช้กำมะถันร่วมกับ TMTD เป็นสารวัลคาไนซ์) ผสมเข้ากับยาง SBR โดยศึกษาสมบัติการไหล (flow properties) ของยาง SBR เมื่อมีการปรับปริมาณของแฟกทิสตั้งแต่ 0 10 20 และ 40 phr ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 5

จากรูปที่ 5 พบว่าเมื่ออัตราความเร็วเฉือนเพิ่มขึ้นสัดส่วนการบวมตัวก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาการเติมแฟกทิสในยาง SBR พบว่าการเติมแฟกทิสช่วยลดการเกิดการบวมตัวได้ตามปริมาณแฟกทิสที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการขึ้นรูปด้วยวิธีการเอ็กซ์ทรูด การเติมแฟกทิสจะช่วยลดปริมาณการเกิดการบวมตัวของเอ็กซ์ทรูเดต (extrudate swell or die swell)

การประยุกต์ใช้งาน

การผลิตลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์และท่อยาง

ในปี ค.ศ. 1987 Botros ได้นำแฟกทิสสีน้ำตาล (ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและใช้กำมะถันร่วมกับ TMTD เป็นสารในการวัลคาไนซ์) ไปผสมกับยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการผลิตลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์ (printer roll) และท่อยาง (rubber hose) โดยใช้สูตรผสมเคมีดังแสดงในตารางที่ 9

จากตารางที่ 9 เมื่อนำผลิตภัณฑ์ลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์ที่มีการเติมแฟกทิสมาทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าความทนต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาดจะมีค่าลดลง และ 100% โมดูลัสมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้เติมแฟกทิส สำหรับการผลิตรอยางพบว่าสูตรยางที่มีการเติมแฟกทิสจะให้ค่าความทนต่อแรงดึงและค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น แต่มีค่า 100% โมดูลัสลดลง

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้รายงานว่าการเติมแฟกทิสสีน้ำตาลสามารถที่จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความทนต่อโอโซนได้สูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ยางทั้งลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์และท่อยางสูตรยางที่มีการเติมแฟกทิสสีน้ำตาล เมื่อนำตัวอย่างชิ้นงานมาทดสอบด้วยโอโซน (ความเข้มข้น 100 ppm* ที่อุณหภูมิ 40°C เวลา 12 ชั่วโมง) พบว่าสูตรยางที่มีการเติมแฟกทิสจะพบรอยแตกในลักษณะสั้นและมีจำนวนรอยแตกลดลงกว่าสูตรยางที่ไม่มีการเติมแฟกทิส

⁴ die swell คือ ปรากฏการณ์ของการพองคลายความเค้นที่อยู่ภายในโพลิเมอร์หลอม ซึ่งเกิดขณะที่โพลิเมอร์หลอมเริ่มออกสู่หัวดายและมีผลทำให้โพลิเมอร์หลอมที่ออกจากหัวดายบวมตัวใหญ่กว่าขนาดของรูดาย

*pphm: ส่วนในร้อยล้านส่วน

ตารางที่ 9 สูตรผสมเคมียาง สมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล

สูตรผสมเคมียาง	ลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์		ตัวอย่าง	
	P1 (phr)	P2 (phr)	H1 (phr)	H2 (phr)
ยางธรรมชาติ (SMR-CV)	100	100	100	100
ซิงก์ออกไซด์	10	10	5	5
กรดสเตียริก	2	2	1	1
แฟกทิลสีน้ำตาล*	-	50	-	15.5
เคลล์ (Dixie)	50	50	40	40
เขม่าดำ (FEF)	-	-	30	30
น้ำมัน	5	5	-	-
พีนิลแนฟทิลลามีน (PAN)	1	1	1	1
สี (red iron oxide)	5	5	-	-
ไดเบนโซโทอะซิลไดซัลไฟด์ (MBTS)	1.25	1.25	-	-
ไซโคลเฮกซิลเบนโซโทอะซิลซัลฟีนามิด (CBS)	-	-	1	1
เทตระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD)	0.25	0.25	0.1	0.1
กำมะถัน	2.5	2.5	2.5	2.5
สมบัติการวัลคาไนซ์				
แรงบิดสูงสุด (dN.m)	153	153	153	153
แรงบิดต่ำสุด (dN.m)	65	46	90	90
t ₉₀ (min)	3	4	4	4
สมบัติเชิงกล				
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	22.9	11.7	17.0	17.6
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	500	420	360	440
100%โมดูลัส (MPa)	3.4	3.3	4.6	3.3
ความทนต่อโอโซน	รอยแตกยาว จำนวนมาก	รอยแตกสั้น จำนวนน้อย	รอยแตกยาว จำนวนมาก	รอยแตกสั้น จำนวนน้อย

หมายเหตุ: *สูตรผสมเคมีของแฟกทิลสีน้ำตาลที่มีปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวออก 100 phr กำมะถัน 25 phr ซิงก์ออกไซด์ 5 phr TMTD 1 phr โดยใช้อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 160°C



ตัวอย่างสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์ (soft printing roll) ชุดดำน้ำ (foamed wetsuit) ดังแสดงในตารางที่ 10 และ 11 สำหรับตัวอย่างรายชื่อผู้ผลิตแพกทิงค์ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 10 สูตรผสมเคมียางในการผลิตลูกกลิ้งเครื่องพิมพ์ (soft printing roll)

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)
ยางไนไตรล์	100
สารตัวเติม	45-95
แพกทิงค์น้ำตาล	15-30
พลาสติกไฮเซอร	35-75
กำมะถัน	1.2
สารตัวเร่งปฏิกิริยา	2.5

ตารางที่ 11 สูตรผสมเคมียางในการผลิตชุดดำน้ำ (foamed wetsuit)

สูตรผสมเคมียาง	ปริมาณ (phr)
ยางคลอโรพรีน (sulfur modified type)	100
สารตัวเติม (เขม่าดำและแคลเซียมคาร์บอเนต)	40
น้ำมันมิเนอรล์	15
แพกทิงค์น้ำตาล	25
สารวัลคาไนซ์	9
สารต้านออกซิเดชัน	2
สารทำให้เกิดฟอง (blowing agent)	10

ตารางที่ 12 ตัวอย่างรายชื่อบริษัทผู้ผลิตแพกทิงค์

ชื่อทางการค้า	บริษัทผู้ผลิต
Rhenopren®	RheinChemie
Akroflex™	AkroChem
Neophax®	Polyone
Vulcanol®	Puneet Polymers
Factice Hamburg, Factice Corona, Factice NQ, Factice WP	D.O.G Deutsche Oelfabrik
WVO®	Excel Polymers

สรุป

การใช้แพกทิงค์เป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตจะช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่าย ใช้พลังงานในการผลิตต่ำลง และยังช่วยให้ผิวของผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีเอกซ์ทรูดมีความเรียบสวยงามและลดการเกิดการบวมตัวที่หัวตายด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. www.specialchem4polymer
2. Erthan, S.M. and Kleiman, R., "Vulcanized Meadowfoam oil", JAOCS, **69(10)**, 670-674 (1990)
3. Erthan, S.M. and Kleiman, R., "Factice from oil mixtures", JAOCS, **70(3)**, 309-311 (1995)
4. Nag, A., Chaki, T.K. and De, K.B. "Factice from oil of Putranjiva roxburghii", JAOCS, **7(3)**, 391-393 (1995)
5. Klingender, R.C., "Handbook of Specialty Elastomers", CRC press, 399-400, 2007.
6. Baarle, B., "Processing Aids", Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber, December 1997.
7. พงษ์ธร แซ่อูย. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2548.
8. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2528.

วิบูลย์สินธ์ อัครติ:

การศึกษา: ปริญญาโท (เทคโนโลยีชีวภาพ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: ผู้ช่วยวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา

ห้องปฏิบัติการยาง ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

ธารณี เจริญสุข

การศึกษา: ปริญญาโท (ปรีดิกซ์และวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่สารสนเทศ

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล