

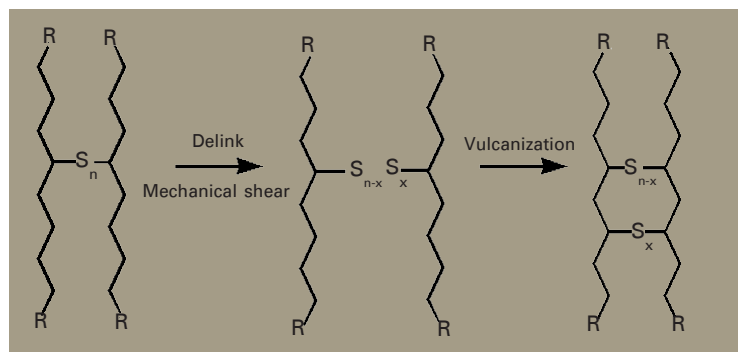
การนำยางกลับมาใช้ใหม่โดยเทคโนโลยีดีลิงค์ (De-Link Technology)

ดร.ณิ ธีรณสุข

อุตสาหกรรมที่ใช้ยางเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตมีหลากหลาย เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ยางพื้นรองเท้า เป็นต้น ซึ่งในส่วนของขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตนั้นก็จะมีเศษยางหรือยางคัดทิ้งเกิดขึ้นแปรผันตามปริมาณการใช้วัตถุดิบ นอกจากนี้ผู้ผลิตยังยางรถยนต์ ซึ่งนับวันจะมีมากขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นปัญหาในการกำจัดในที่สุด การที่จะนำยางเหล่านี้กลับมาใช้ใหม่ถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้ ปัจจุบันการพัฒนาวิธีการนำยางกลับมาใช้ใหม่มีอยู่หลายวิธี ซึ่งวิธีหนึ่งที่น่าสนใจคือ เทคโนโลยีดีลิงค์ (De-Link Technology) โดยในปี 1995 Shekhar และ Komer ได้จดสิทธิบัตรการพัฒนาเทคนิคการดีวัลคาไนซ์ (devulcanize) เศษยาง โดยการเติมสารเคมีที่เรียกว่า ดีลิงค์ (De-Link) เพื่อช่วยตัดสายโซ่โมเลกุลให้เล็กลงซึ่งสารดีลิงค์นี้จะมีส่วนผสมของเกลือโลหะสังกะสี คือ zinc dimethyl dithiocarbamate (ZDMC) mercaptobenzothiazole (MBT) และสารเคมีอื่นๆ เช่น กรดสเตียริก ซิงก์ออกไซด์ กำมะถัน และไกลคอล ผสมกันในสัดส่วนต่างๆ [1] เทคนิคนี้สามารถใช้ในการดีวัลคาไนซ์เศษยางได้ทั้งเศษยางจากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เช่น ยางบิวทาไดอีน (BR) ยางเอสปีอาร์ (SBR) ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) ยางไนไตรล์ (NBR) ยางคลอโรพรีน (CR) เป็นต้น ตารางที่ 1 แสดงลักษณะและสมบัติของสารดีลิงค์ และรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดีวัลคาไนซ์เศษยางด้วยสารดีลิงค์



ตารางที่ 1 สมบัติของดีลิงค์ [2]	
ลักษณะ	เป็นแผ่น
สี	น้ำเงินเทา
ค่าความถ่วงจำเพาะ	1.3-1.4
ค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4 @ 100 °C)	50-55
กลิ่น	กลิ่น lilac
ความสามารถในการละลาย	ละลายได้ปานกลางในตัวทำละลายอะซิโตน เบนซีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และเนฟทา



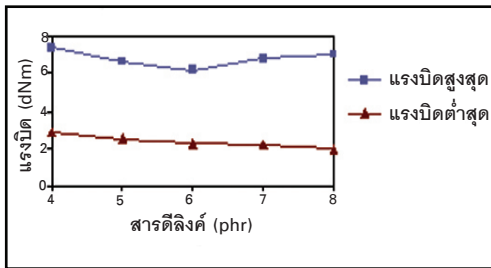
รูปที่ 1 ขั้นตอนการดีวัลคาไนซ์เศษยางด้วยสารดีลิงค์ [1]

ในปี 1999 Ishiaku [2] ได้ศึกษาปริมาณสารดีลิ่งค์ที่เหมาะสมสำหรับการวัลคาไนซ์เศษยาง โดยใช้ปริมาณสารดีลิ่งค์ 4-8 phr สูตรผสมเคมีของยางวัลคาไนซ์ แสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ได้มาทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C แล้วนำมาทดสอบสมบัติต่างๆ ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 2 ถึงรูปที่ 5

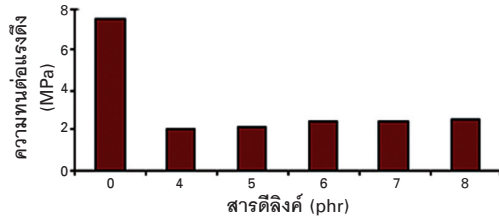
จากรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างยางที่เติมและไม่ได้เติมสารดีลิ่งค์ พบว่าสมบัติเชิงกลของยางที่ไม่ได้เติมสารดีลิ่งค์จะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างที่ใช้สารดีลิ่งค์พบว่าการเติมสารดีลิ่งค์ในปริมาณ 6 phr จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด และหากเติมสารดีลิ่งค์ในปริมาณที่มากกว่านี้สมบัติต่างๆจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

ตารางที่ 2 สูตรผสมเคมียาง [2]

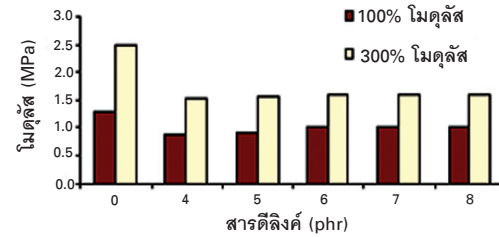
ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้ (phr)
ยางผง (Rubber powder)	100
ยางธรรมชาติ	6
ดีลิ่งค์	4-8



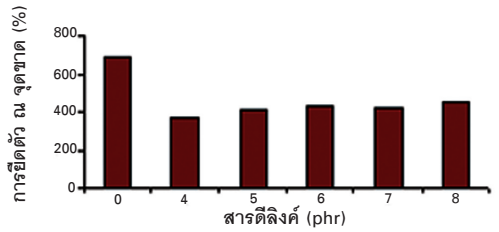
รูปที่ 2 ค่าแรงบิดสูงสุดและต่ำสุด วัดด้วยเครื่อง MDR 2000 เมื่อใช้สารดีลิ่งค์ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 3 ค่าความทนต่อแรงดึงเมื่อใช้สารดีลิ่งค์ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 4 ค่า 100% และ 300% โมดูลัส เมื่อใช้สารดีลิ่งค์ปริมาณต่างๆ



รูปที่ 5 ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดเมื่อใช้สารดีลิ่งค์ปริมาณต่างๆ

ในปี 1997 Kohler และคณะ [3] ได้ศึกษาการนำยางวัลคาไนซ์มาผสมกับยางธรรมชาติ (NR) หรือยางเอสบีอาร์ (SBR) ตามสูตรที่แสดงในตารางที่ 3 ทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 100 °C แล้วเปรียบเทียบสมบัติของยางที่ได้กับยางธรรมชาติและยางเอสบีอาร์ที่ยังไม่ได้วัลคาไนซ์ (ยางวัลคาไนซ์เตรียมโดยนำเศษยางมาบดที่อุณหภูมิ ต่ำ (-195 °C) โดยใช้ไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ยางมีขนาดเล็ก (40 mesh) แล้วนำยางที่บดแล้ว 100 ส่วนผสมกับสารดีลิ่งค์ปริมาณ 2-6 ส่วน โดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ทำการบดผสมประมาณ 8 นาที)

ตารางที่ 3 สูตรผสมเคมียาง [3]

ส่วนผสม	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก)			
	NR	SBR	NR-D	SBR-D
	1	2	3	4
ยางธรรมชาติ	100	-	70	-
SBR 1502	-	100	-	70
ยางดีวัลคาไนซ์	-	-	30	30
เขม่าดำ (N220)	45.0	50.0	-	-
ซิงก์ออกไซด์	5.0	3.0	-	-
กรดสเตียริก	2.0	0.5	-	-
Santoflex 13	1.5	1.0	-	-
Santocure NS	0.7	-	-	-
OBTS	-	2.2	-	-
กำมะถัน	2.5	1.8	-	-

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบสมบัติของยาง NR และ SBR กับยาง NR และ SBR ที่ผ่านการรีไซเคิล [3]

สมบัติ	ชนิดของยาง			
	NR	SBR	NR-D	SBR-D
	1	2	3	4
ความหนืดมูนนี่, ML1+4 ที่ 100 °C	61.9	96.6	72.3	109.2
ค่า tanδ ที่แรงบิดสูงสุด	0.056	0.091	0.062	0.097
300 % โมดูลัส (MPa)	13.6	20.9	14.7	20.0
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	29.1	26.5	27.4	24.4
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	534	358	489	345
ความทนต่อแรงฉีกขาด (MPa)	3.49	1.60	2.51	1.53
การยุบตัว (%)	19.5	15.0	22.4	13.6

จากตารางที่ 4 ผลของค่าความหนืดมูนนี่และค่า tanδ เมื่อเทียบระหว่างยางที่ผสมกับไม่ผสมยางดีวัลคาไนซ์ พบว่ายางที่ผสมเศษยางดีวัลคาไนซ์ให้ค่าความหนืดที่สูงกว่าเล็กน้อย สำหรับค่าความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ค่า 300% โมดูลัสของยางธรรมชาติผสมยางดีวัลคาไนซ์ มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความทนต่อการฉีกขาดหากเป็นยางธรรมชาติที่มียางดีวัลคาไนซ์ผสมอยู่ จะมีค่าลดลง แต่ในกรณีของยาง SBR ความทนต่อการฉีกขาดจะมีค่าไม่ต่างกันมากนัก สำหรับการยุบตัวค่าที่ได้ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน

ในปี 2006 Onyshchenko และคณะ [4] ได้ศึกษาการนำยางรถยนต์เก่ากลับมาใช้ใหม่โดยใช้เทคโนโลยีดีลิงค์ โดยได้ศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง (3 ครั้ง) ตารางที่ 5 แสดงสูตรยางที่ใช้เตรียมเศษยางรถยนต์ดีวัลคาไนซ์ ตารางที่ 6 แสดงสูตรยางที่ใช้เตรียมยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผสมยางดีวัลคาไนซ์เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ เศษยางดีวัลคาไนซ์นำมาใช้ผสมกับยางธรรมชาติในปริมาณร้อยละ 30 โดยครั้งหนึ่งนำยางดีวัลคาไนซ์ตั้งต้นร้อยละ 30 มาผสมกับยางธรรมชาติตั้งต้นร้อยละ 70 (ยาง A ในตารางที่ 7) หลังจากดีวัลคาไนซ์ยาง A แล้วนำยางดีวัลคาไนซ์ที่ได้ (ยาง B) อีกร้อยละ 30 มาผสมกับยางธรรมชาติใหม่ ครั้งสุดท้ายนำยางดีวัลคาไนซ์จากยาง B มาศึกษาตามแบบเดิม การวัลคาไนซ์ยางที่ศึกษาทำที่อุณหภูมิ 140 °C และ 150 °C สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางที่ศึกษาแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 5 สูตรการเตรียมยางดีวีลคานโซ [4]

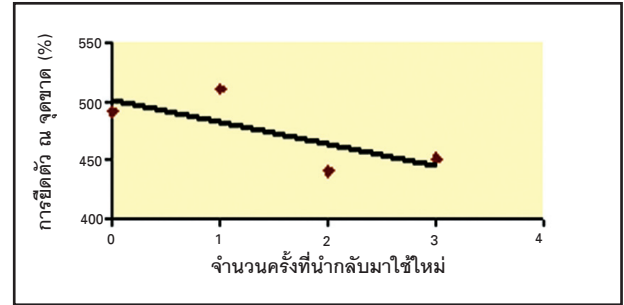
ส่วนผสม	ปริมาณ (phr)
ยางก้อนจากยางรถยนต์เก่า	100
ดีลิ่งค์	5.0
Stukol 60 NS	2.0
ยางธรรมชาติ	6.0

ตารางที่ 6 สูตรผสมเคมียางที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ หรือยางธรรมชาติผสมยางดีวีลคานโซ [4]

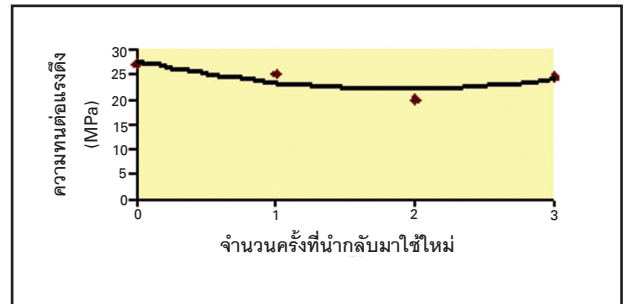
ส่วนผสม	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ หรือ ยางธรรมชาติผสมยางดีวีลคานโซ	100
เขม่าดำ (N220)	45.0
ซิงก์ออกไซด์	5.0
กรดสเตียริก	2.0
Santoflex 13	1.5
TBBS	0.7
กำมะถัน	2.5

ตารางที่ 7 ยางดีวีลคานโซที่นำมาศึกษา [4]

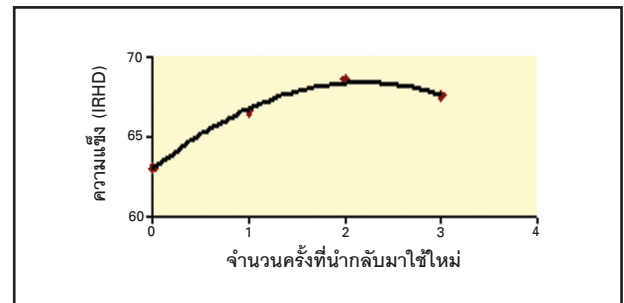
A	B	C
ยางดีวีลคานโซ นำมาใช้ครั้งที่ 1	ยางดีวีลคานโซ นำมาใช้ครั้งที่ 2	ยางดีวีลคานโซ นำมาใช้ครั้งที่ 3
70% ยางธรรมชาติ	70% ยางธรรมชาติ	70% ยางธรรมชาติ
30% ยางดีวีลคานโซ	30% A	30% B



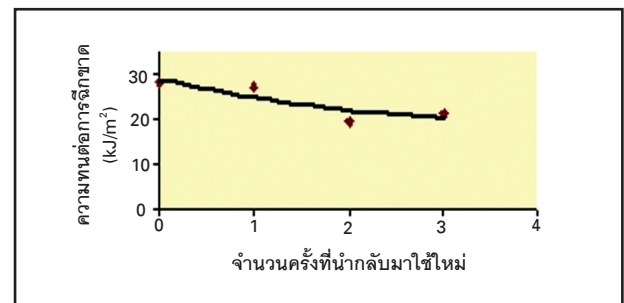
รูปที่ 6 ค่าการยึดตัว ณ จุดขาด



รูปที่ 7 ค่าความทนต่อแรงดึง



รูปที่ 8 ค่าความแข็ง



รูปที่ 9 ค่าความทนต่อการฉีกขาด

ตารางที่ 8 สมบัติการวัลคาไนซ์ ของยางเกี่ยวกับยางที่ผสมยางรีไซเคิลที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ 140 °C และ 150 °C [4]

สมบัติ	ชนิดยาง							
	ยางธรรมชาติ ตั้งต้น		ยางรีไซเคิล ครั้งที่ 1 (A)		ยางรีไซเคิล ครั้งที่ 2 (B)		ยางรีไซเคิล ครั้งที่ 3 (C)	
อุณหภูมิที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (°C)	140	150	140	150	140	150	140	150
แรงบิดต่ำสุด (dN-m)	7.20	6.70	6.50	6.10	9.10	9.20	8.70	8.30
แรงบิดสูงสุด (dN-m)	89.9	87.1	91.3	87.7	92.8	89.7	92.1	87.3
เวลาเริ่มวัลคาไนซ์ (นาที)	9.01	5.13	3.14	2.07	3.18	2.02	3.04	2.07
t ₉₅ (นาที)	28.3	15.4	7.45	4.20	9.57	4.47	9.19	4.28

จากตารางที่ 8 จะเห็นว่าเวลาที่ยางเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ของยางที่ผ่านการรีไซเคิล (A, B, C) จะเร็วกว่าของยางธรรมชาติตั้งต้นมาก ทั้งการวัลคาไนซ์ที่ 140 °C และ 150 °C กล่าวคือที่ 140 °C เร็วขึ้นเกือบ 6 นาทีและที่ 150 °C เร็วขึ้นประมาณ 3 นาที แต่ถ้าเทียบกันระหว่างยางที่ผ่านการรีไซเคิลใช้เวลาที่ยางเริ่มเกิดการวัลคาไนซ์ไม่แตกต่างกันมากนัก สำหรับเวลาในการวัลคาไนซ์ ยางผสมยางรีไซเคิลจะวัลคาไนซ์เร็วขึ้นมากเช่นกันคือเร็วขึ้น 21 นาทีเมื่อวัลคาไนซ์ที่ 140 °C และวัลคาไนซ์เร็วขึ้น 11 นาทีเมื่อวัลคาไนซ์ที่ 150 °C แต่เมื่อเปรียบเทียบกับยางที่รีไซเคิลด้วยกัน เวลาในการวัลคาไนซ์ไม่ต่างกันมากนัก

สำหรับค่าสมบัติเชิงกลของยางรีไซเคิลที่ศึกษาแสดงในรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 9 จะเห็นว่าสมบัติของยางรีไซเคิลมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนครั้งที่นำกลับมาใช้ใหม่ ที่เห็นชัดคือการยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงแต่ความแข็งแรงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

สรุป

การนำยางใช้แล้วหรือเศษยางใช้แล้ว (วัลคาไนซ์แล้ว) กลับมาใช้ใหม่ สามารถทำได้โดยใช้สารดีลิงค์ที่มีขายเชิงการค้า จากการศึกษาที่นำเสนอในบทความนี้สามารถนำยางรีไซเคิลมาใช้ได้โดยไม่ทำให้สมบัติเชิงกลลดลงมากโดยใช้ยางรีไซเคิลร้อยละ 30 ผสมในสูตรยางปกติ การรีไซเคิลสามารถทำได้ไม่ต่ำกว่า 3 ครั้งทั้งนี้คงขึ้นกับสูตรยางที่ใช้ด้วย ฉะนั้นผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้พอสมควร

เอกสารอ้างอิง

1. US Patent No. 5770632, June 23, 1998
2. Ishiaku, U.S., Chong, C.S., Ismail, H., “Determination of optimum De-Link R concentration in a recycled rubber compound”. *Polymer Testing*, **18**, 621, (1999)
3. Kohler, R., O’Neill, J., *Rubber World*, **216(2)**, 32, (1997)
4. Onyshchenko, E., Bartlett, P. “Network changes in recycle rubber”. *Rubber World*, **233(6)**, 45, (2006)

ดร.ณิ เจริญสุข
การศึกษา : ปริญญาโท (ปรีดิศคม์และวิทยาศาสตร์ฟิล์มส์)
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน : เจ้าหน้าที่สารสนเทศ
 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล