

# การประยุกต์ใช้ฟีนอลิกเรซินในอุตสาหกรรมยาง

ดารณี เจริญสุข

## บทนำ

ฟีนอลิกเรซิน (phenolic resin) หรือฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (phenol formaldehyde resin) เป็นโพลีเมอร์ที่ได้รับการสังเคราะห์ขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1907 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเบลเยียมชื่อเบคเคแลนด์ (Baekeland) ด้วยเหตุนี้ฟีนอลิกเรซินที่จำหน่ายในครั้งแรกจึงมีชื่อทางการค้าว่า “Bakelite”

ฟีนอลิกเรซินได้รับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางค่อนข้างมากเพราะการเติมฟีนอลิกเรซินนอกจากจะช่วยปรับปรุงสมบัติในกระบวนการผลิต (เช่น ทำให้ยางคอมพาวด์ไหลได้ง่าย มีความเหนียวติด (tack) สูงขึ้น และทำให้สารตัวเติมผสมเข้ากับยางได้ดีขึ้น) ยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางและโลหะอีกด้วย

ฟีนอลิกเรซินเป็นเรซินที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาควบแน่น (condensation reaction) ระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์โดยใช้กรดหรือเบสเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการสังเคราะห์ฟีนอลิกเรซิน ได้แก่ สัดส่วนของฟีนอลต่อฟอร์มัลดีไฮด์ คะตะลิสต์ และสภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา (เช่น อุณหภูมิ) ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อลักษณะโครงสร้างของเรซิน โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งฟีนอลิกเรซินเป็น 2 ชนิด คือ รีโซลเรซิน (resole resin) และโนโวแลกเรซิน (novolac resin) ซึ่งรีโซลเรซินจะใช้เป็นสารวัลคาไนซ์สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการนำไปใช้งานภายใต้สภาวะที่ได้รับความร้อนหรือความดันไอสูงๆ เช่น ถุงลมนิรภัย (air bags) และยางเทอร์โมพลาสติก ส่วนโนโวแลกเรซินจะใช้เป็นสารที่ช่วยทำให้ยางเหนียวติดดีขึ้น แต่ถ้าโนโวแลกเรซินถูกทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยเรซินที่ให้หมู่เมทิลีน โนวอลแลกเรซินที่ได้จะทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงให้แก่ยาง นอกจากนี้ฟีนอลิกเรซิน 2 ชนิดดังกล่าวข้างต้น ยังได้มีงานวิจัยที่ศึกษาการนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Cashew nut shell oil) มาใช้เป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ฟีนอลิกเรซินเพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยางและอุตสาหกรรมอื่นๆ

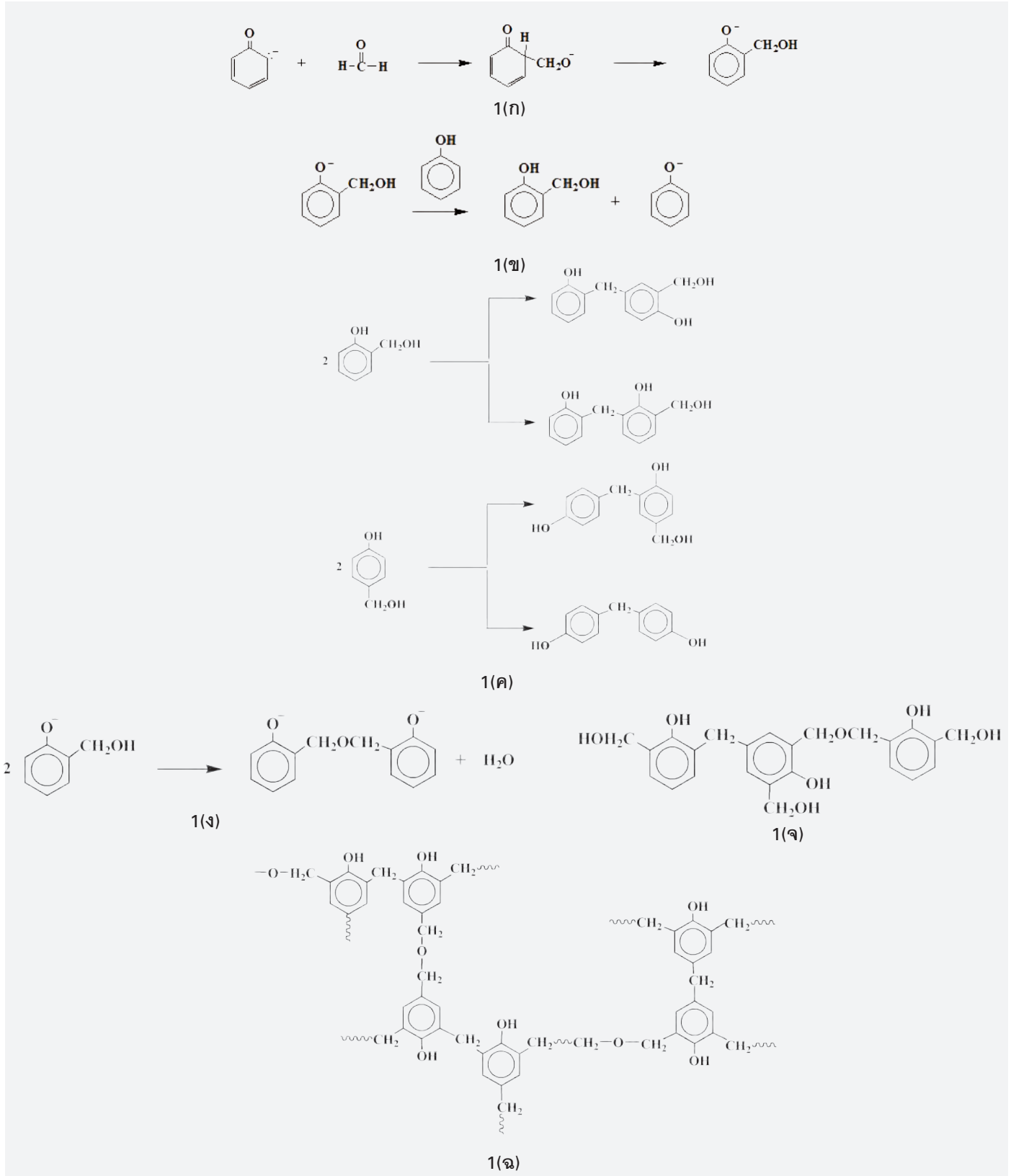
## รีโซลเรซิน

รีโซลเรซินเป็นเรซินที่มีความไวต่อปฏิกิริยาและความร้อนสูง จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารวัลคาไนซ์สำหรับยางบิวไทล์ (IIR) หรือยางชนิดอื่นที่มีปริมาณพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างโมเลกุลต่ำ แม้ว่าเรซินชนิดนี้สามารถวัลคาไนซ์ยางได้แต่ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์อาจจะไม่สูงเพียงพอ การเติมสารประกอบที่มีธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น สแตนนัสคลอไรด์ (stannous chloride; SnCl<sub>2</sub>) หรือยางคลอโรพรีน (CR) ลงไปในปริมาณเล็กน้อย (3-5 phr) ก็จะช่วยทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

### การสังเคราะห์รีโซลเรซิน

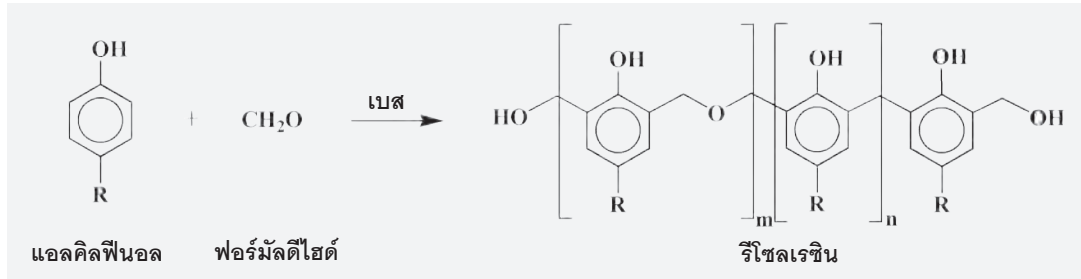
รีโซลเป็นเรซินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะที่มีการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณที่สูงกว่าฟีนอล และใช้เบสเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วการเตรียมรีโซลเรซินจะใช้สัดส่วนของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อฟีนอลตั้งแต่ 1.2:1 ถึง 3:1 โดยโมล

กลไกการเกิดปฏิกิริยาเริ่มจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบส (เช่น NaOH) ได้เป็นสารไอออนลบของฟีนอล หลังจากนั้นไอออนลบของฟีนอลจะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เกิดเป็นหมู่เมทิลอล (methylol: -CH<sub>2</sub>OH) ที่ตำแหน่งออโทหรือพารา (1(ก)) ซึ่งหมู่เมทิลอลนี้เป็นหมู่ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไอออนลบของฟีนอล หลังจากนั้นเมทิลอลฟีนอล (methylolphenols) 2 โมลจะเกิดการควบแน่นกันต่อ ทำให้ฟีนอลเกิดการเชื่อมโยงกันผ่านหมู่เมทิลีน (methylene bridge) (1(ค)) และอาจจะมีบางกรณีที่อาจเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลเป็นแบบพันธะอีเทอร์ (ether linkage) (1(ง)) การสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นจะได้ของผสมของสารประกอบเมทิลอลฟีนอลหลายตัวที่มีการเชื่อมโยงผ่านหมู่เมทิลีนหรือผ่านหมู่อีเทอร์ รีโซลเรซินที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวหรือของแข็งขึ้นอยู่กับระดับการเกิดปฏิกิริยาหรือพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น ตัวอย่างโครงสร้างรีโซลเรซินแสดงดังรูปที่ 1(จ-ข)



รูปที่ 1 การสังเคราะห์โพลิฟีนอล

สำหรับกรณีที่สังเคราะห์รีโซลเรซินโดยใช้ฟีนอลที่มีหมู่แทนที่เป็นสารตั้งต้น จะใช้สัดส่วนของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อฟีนอลในช่วง 1.2:1 ถึง 1.8:1 โดยโมล รูปที่ 2 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์รีโซลเรซินที่เกิดขึ้นในกรณีนี้



รูปที่ 2 การสังเคราะห์รีโซลเรซิน (ใช้ฟีนอลที่มีหมู่แทนที่)

สมบัติทางกายภาพของรีโซลเรซิน

รีโซลเรซินเชิงการค้ามีหลายเกรด แต่ละเกรดมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน เช่น บางเกรดมีลักษณะเป็นของเหลวหนืด แต่บางเกรดก็เป็นของแข็ง นอกจากความแตกต่างทางด้านลักษณะทางกายภาพแล้ว รีโซลเรซินแต่ละเกรดยังมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันอย่างที่แสดงในตารางที่ 1 ด้วยเหตุนี้การเลือกรีโซลเรซินมาใช้งานจึงจำเป็นต้องพิจารณาสมบัติต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดอ่อนตัวของเรซิน (softening point) รวมถึงปริมาณเมทิลอลที่อยู่ในโครงสร้างของเรซิน เพราะถ้าเรซินมีปริมาณของเมทิลอลสูงแสดงว่าเรซินเกรดนั้นๆ มีความไวต่อปฏิกิริยาสูงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 1 ตัวอย่างรีโซลเรซินเกรดทางการค้า [1,2]

ชื่อทางการค้า	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดอ่อนตัว (°C)	เมทิลอล (%)	โบรมีน (%)	การนำไปใช้งาน
SP 1044	57-65.5	80-90	7.5-9.5	-	สารวัลคาไนซ์สำหรับยางบิวไทล์ ทำให้เกิดการเชื่อมโยงผ่านพันธะคาร์บอน-คาร์บอน (carbon bridges)
SP 1045	60-65.5	80-95	8.0-11.0	-	เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนและไอโซน เช่น สายพานลำเลียง ปะเก็น เป็นต้น
HRJ-10518	60-65.5	80-95	6.0-9.0	-	
SP 1055	60-70	85-95	10.0-14.0	3.6-4.0	สารวัลคาไนซ์สำหรับยางบิวไทล์และยางฮาโลบิวไทล์
SP 1056	60-70	80-90	9.0-11.0	6.0-7.5	สารวัลคาไนซ์สำหรับยางธรรมชาติและบิวไทล์ซีเมนต์ (butyl cement)

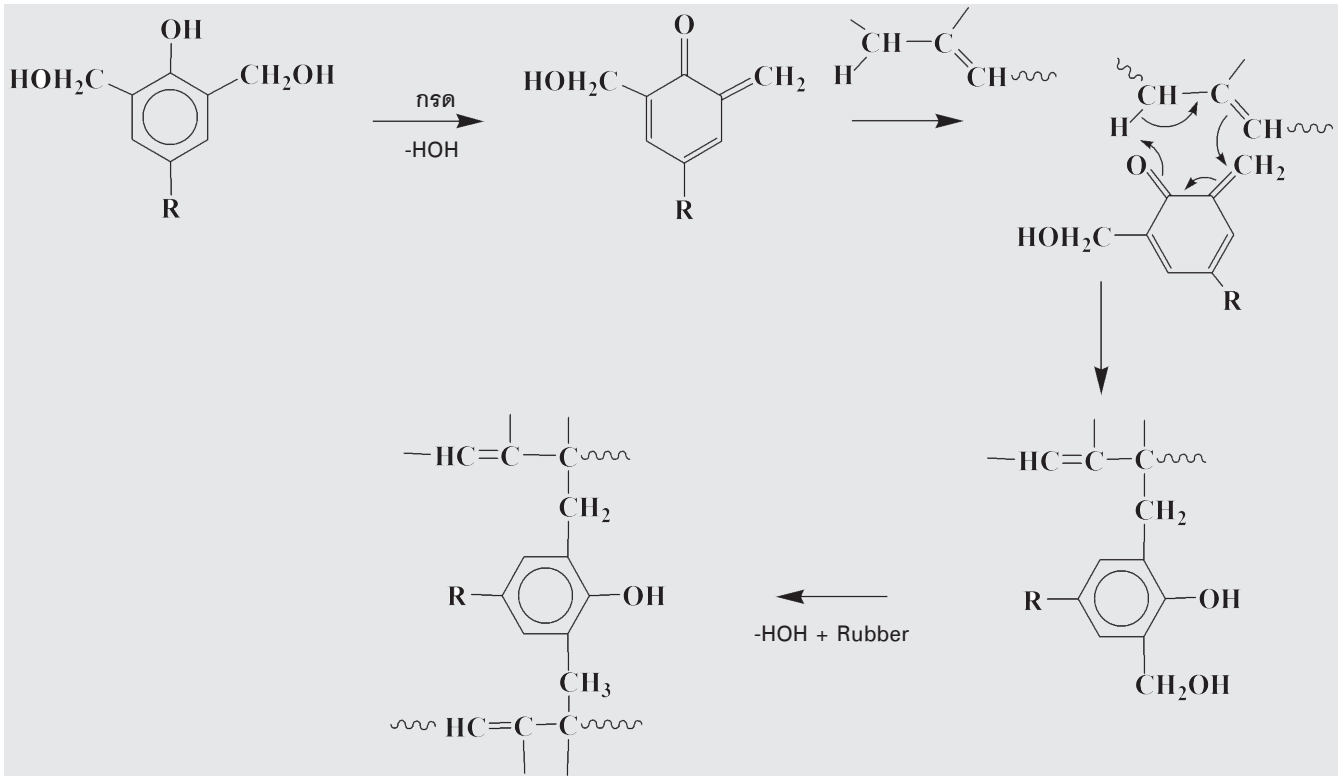
การนำรีโซลเรซินมาประยุกต์ใช้งาน

รีโซลเรซินนิยมนำไปใช้เป็นสารวัลคาไนซ์สำหรับยางบิวไทล์และยางฮาโลบิวไทล์ โดยปกติแล้วยางดังกล่าวข้างต้นเป็นยางชนิดพิเศษที่สามารถวัลคาไนซ์ได้หลายระบบดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2 การจะเลือกใช้ระบบการวัลคาไนซ์แบบใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ Walter และคณะ [3] รายงานว่าการวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์และยางฮาโลบิวไทล์ด้วยเรซินจะทำให้โมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงผ่านพันธะคาร์บอน-คาร์บอนส่งผลให้ยางวัลคาไนซ์ที่ได้มีความทนทานต่อความร้อนสูง จึงเหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง รูปที่ 3 และรูปที่ 4 แสดงกลไกการวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์และยางฮาโลบิวไทล์ด้วยรีโซลเรซิน

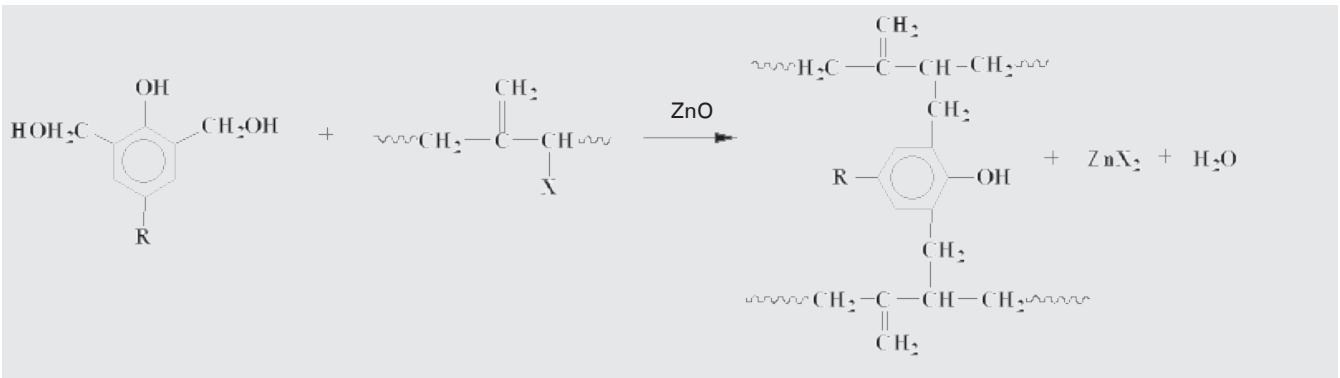
ตารางที่ 2 ระบบการวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์และยางฮาโลบิวไทล์ [3]

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)					
	ยางบิวไทล์ (100 phr)			ยางฮาโลบิวไทล์ (100 phr)		
	กำมะถัน/ สารตัวเร่ง ปฏิกิริยา	รีโซลเรซิน	ควิโนน	กำมะถัน/ สารตัวเร่ง ปฏิกิริยา	รีโซลเรซิน	เอมีน
ซิงก์ออกไซด์	5	5	5	5	3	-
ตะกั่วออกไซด์	-	-	2	-	-	-
กรดสเตียริก	2	1	-	-	-	-
กำมะถัน	2	-	-	0.5	-	-
MBTS	0.5	-	-	1.5	-	-
TMTD	1.0	-	-	0.25	-	-
แมกนีเซียมออกไซด์	-	-	-	0.5	-	3
เฮกซะเมทิลีนไดเอมีนคาร์บาเมต	-	-	-	-	-	1
รีโซลเรซิน (SP1045)	-	-	-	-	5	-
รีโซลเรซิน (SP1055)	-	12	-	-	-	-
เบนโซควิโนนไดออกไซด์	-	-	2	-	-	-
<b>สภาวะการวัลคาไนซ์</b>						
อุณหภูมิ (°C)	155	180	180	160	160	160
เวลา (นาที)	20	80	80	20	15	5

หมายเหตุ: MBTS = Benzothiazyl disulfide  
 TMTD = Tetramethylthiuram disulfide  
 SP1045 = Octylphenol heat reactive resin  
 SP1055 = Brominated octylphenol heat reactive resin



รูปที่ 3 กลไกการวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์ด้วยริโซลเรซิน



รูปที่ 4 กลไกการวัลคาไนซ์ยางฮาโลบิวไทล์ด้วยริโซลเรซิน

นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับการนำริโซลเรซินไปใช้ในการวัลคาไนซ์ยางบิวไทล์เพื่อผลิตถุงลมสำหรับบอบยางล้อย (Bladder) [3] โดยมีสูตรผสมเคมีดังแสดงในตารางที่ 3 หลังจากผสมสารเคมียางแล้ว จึงนำยางคอมพาวด์ไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้เครื่อง ODR 2000 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4 จากตารางพบว่ายางบิวไทล์มีระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูงขึ้นตามการเพิ่มปริมาณหมู่เมทิลอลและโบรมีนในริโซลเรซิน

ตารางที่ 3 สูตรผสมเคมียางสำหรับการผลิตถุงลมสำหรับบอยล้อ [3]

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)			
	รีไซลเรซินที่ไม่มีโบรมีน (Br) เป็นองค์ประกอบ		รีไซลเรซินที่มีโบรมีน (Br) เป็นองค์ประกอบ	
	ยางสูตร 1	ยางสูตร 2	ยางสูตร 3	ยางสูตร 4
ยางบิวไทล์ (butyl 268)	100	100	100	100
เขม่าดำ (N330)	50	50	50	50
น้ำมันละหุ่ง	5	5	5	5
ซิงก์ออกไซด์	5	5	5	5
นีโอพรีน (Neoprene W)	5	5	-	-
รีไซลเรซิน	10	10	10	10

ตารางที่ 4 สมบัติการวัลคาไนซ์ของยางที่อุณหภูมิต่างๆ [3]

สมบัติการวัลคาไนซ์	ยางสูตร 1	ยางสูตร 2	ยางสูตร 3	ยางสูตร 4
<b>วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 148°C (300°F)</b>				
แรงบิดต่ำสุด ( $M_L$ ) (lb/in)	7.15	7.03	7.13	7.47
แรงบิดสูงสุด ( $M_H$ ) (lb/in)	10.65	15.38	15.02	19.21
$t_2$ (min)	15.50	10.78	11.55	5.75
$t_{c10}$ (min)	4.36	6.62	6.96	4.37
$t_{c90}$ (min)	26.48	27.01	27.17	24.38
<b>การวัลคาไนซ์ที่ 193°C (380°F)</b>				
แรงบิดต่ำสุด ( $M_L$ ) (lb/in)	5.30	5.29	5.45	6.15
แรงบิดสูงสุด ( $M_H$ ) (lb/in)	26.68	29.58	25.24	25.11
$t_2$ (min)	2.31	2.34	1.28	0.93
$t_{c10}$ (min)	2.39	2.58	1.28	0.92
$t_{c90}$ (min)	21.03	21.29	12.45	12.29

โนโวแลกเรซิน

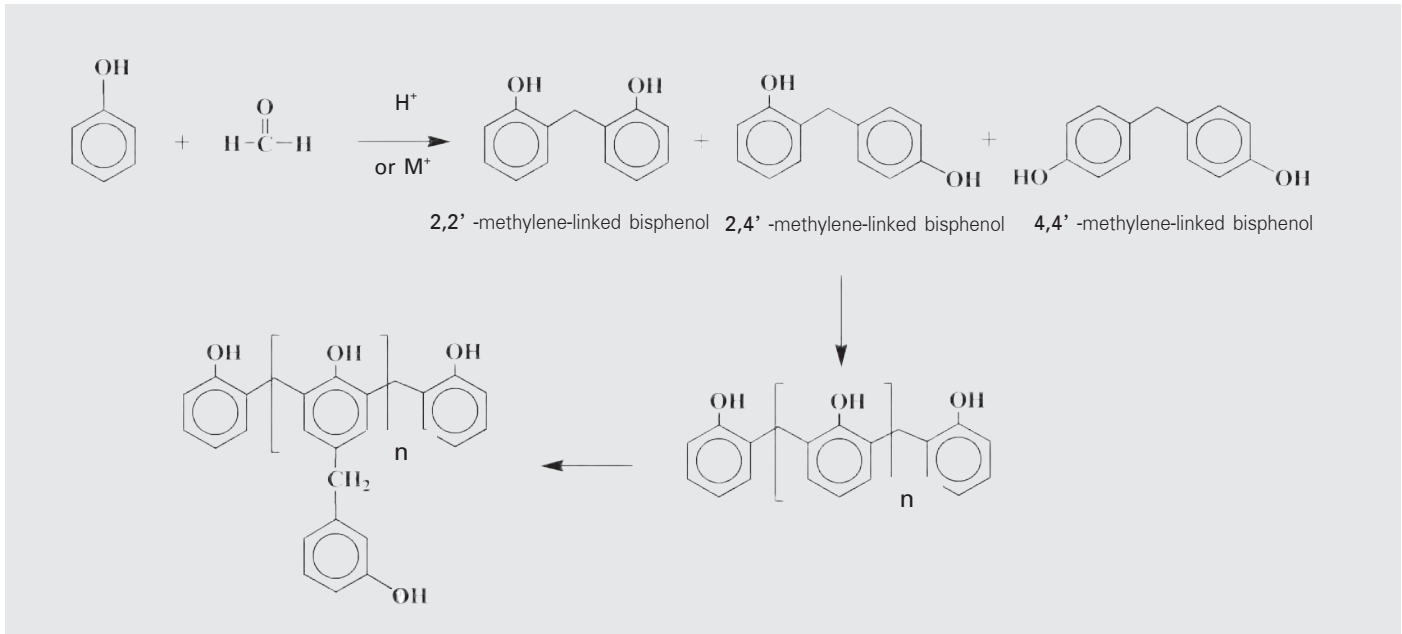
**การสังเคราะห์โนโวแลกเรซิน**

โนโวแลกเรซินเป็นเรซินที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะที่มีการใช้ฟีนอลในปริมาณที่สูงกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ และใช้กรดเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา (กรดที่นิยมใช้ เช่น กรดซัลฟิวริก กรดซัลฟอนิก กรดออกซาลิก และกรดฟอสฟอริก) โดยทั่วไปแล้วการเตรียมโนโวแลกเรซินจะใช้สัดส่วนฟีนอลต่อฟอร์มัลดีไฮด์ตั้งแต่ 1: 0.5 ถึง 1: 0.8 โดยโมล

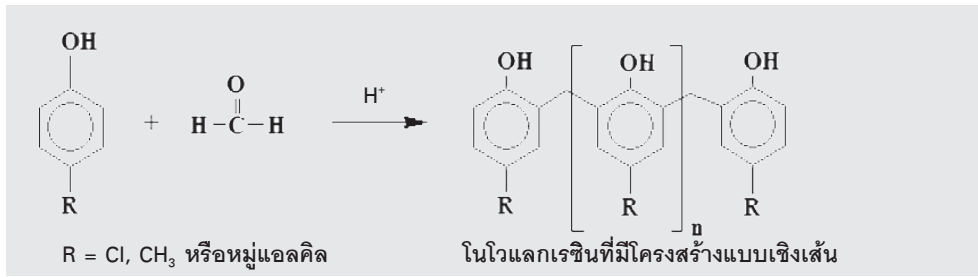
โนโวแลกเรซินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

**1. โนวโอแลกเรซินที่มีโครงสร้างเชื่อมโยง (crosslinked Novolac)** หรืออาจเรียกว่าเรซินชนิดเสริมแรง (reinforcing resin) โดยทั่วไปแล้วโมเลกุลของโนโวแลกเรซินสามารถเกิดการเชื่อมโยงเป็นร่างแหตาข่าย 3 มิติได้ด้วยการเติมสารวัลคาไนซ์ที่สามารถให้หมู่เมทิลีน (methylene donor) ตัวอย่างเช่น เฮกซะเมทิลีนเททระมีน (HMTA) หรือเฮกซะ (เมทอกซี) เมทิล เมลามีน (hexa (methoxymethyl) melamine; HMMM) ปริมาณของสารวัลคาไนซ์ (HMTA หรือ HMMM) ที่ใช้จะขึ้นอยู่กับระดับความแข็งของยางที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมใช้สารวัลคาไนซ์ในปริมาณร้อยละ 8-15 โดยเทียบกับน้ำหนักโนโวแลกเรซิน เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการทำงานของสารวัลคาไนซ์ทั้ง 2 ชนิดข้างต้น พบว่า HMTA มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งสูงกว่า HMMM เล็กน้อย การเติมโนโวแลกเรซินร่วมกับสารวัลคาไนซ์นอกจากจะทำให้ยางมีความแข็งสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางและโลหะอีกด้วย

**2. โนวโอแลกเรซินที่ไม่มีโครงสร้างเชื่อมโยง (uncrosslinked Novolac)** เรซินชนิดนี้นำมาใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความเหนียวติด (tackifier) รูปที่ 5 แสดงวิธีการเตรียมโนโวแลกเรซินชนิดนี้ จากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างทางเคมีของโนโวแลกที่สังเคราะห์ได้อาจจะมีหลายแบบ เช่น 2,2'-methylene-linked bisphenol และ 2,4'-methylene-linked bisphenol และ 4,4'-methylene-linked bisphenol ซึ่งโครงสร้างที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของคะตะลิสต์ (ดูตารางที่ 5 ประกอบ) ส่วนรูปที่ 6 แสดงการเตรียมโนโวแลกเรซินโดยใช้ฟีนอลที่มีหมู่แทนที่ที่ตำแหน่งพารา (p-substituted phenol) เมื่อทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะกรด จะได้โนโวแลกเรซินที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น (linear structure) ซึ่งโนโวแลกที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นนี้นิยมนำไปใช้เป็นสารทำให้ยางเหนียวติดในยางสไตรีนบิวทาไดอีน ยางบิวไทล์ ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน และยางธรรมชาติ



รูปที่ 5 การสังเคราะห์โนโวแลกเรซิน



รูปที่ 6 การสังเคราะห์โนโวนแลกเรซินที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 5 โครงสร้างโนโวนแลกเรซินเมื่อใช้คะตะลิสต์ชนิดต่างๆ

โครงสร้างโนโวนแลกเรซิน	ปริมาณ (%)	
	กรด	ซิงก์อะซิเตต
2,2'-methylene-linked bisphenol	6	45
2,4'-methylene-linked bisphenol	73	45
4,4'-methylene-linked bisphenol	21	10

สมบัติทางกายภาพของโนโวนแลกเรซิน

โนโวนแลกเรซินเชิงการค้ามีหลายเกรด การเลือกโนโวนแลกเรซินแต่ละเกรดมาใช้งานจำเป็นต้องพิจารณาสมบัติต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว หรือจุดอ่อนตัว เพราะถ้าเรซินมีจุดอ่อนตัวสูง (มีน้ำหนักโมเลกุลสูง) เมื่อนำมาใช้งานจะทำให้ยางมีสมบัติความเหนียวติดกันสูง

ตารางที่ 6 ตัวอย่างโนโวนแลกเรซินเกรดทางการค้า

ชื่อทางการค้า	ลักษณะ	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดอ่อนตัว (°C)	การนำไปใช้งาน
SP 1068	แผ่น	-	90	สารเพิ่มความเหนียวติด
SP 1077	-	95-103	97	สารเพิ่มความเหนียวติด
SP 6601	ผง	65.5	-	สารเสริมแรง/ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้า (shoe soles)
RESPLAST 59K*	ผง	80-95	-	สารเสริมแรง
RESPLAST 68*	ผง	80-92 ถึง 105-110	-	สารเสริมแรง

\*ของผสมระหว่างโนโวนแลกเรซินและ HMTA



การประยุกต์ใช้งานของโนโวแลกเรซิน

นอกจากโนโวแลกเรซินจะสามารถนำไปใช้เป็นสารเพิ่มความเหนียวติดของยางคอมพาวด์แล้ว ยังมีการนำเรซินชนิดนี้ไปใช้เป็นสารเสริมแรงในยางด้วย [6] โดยมีรายงานว่า การเติมฟีนอลิกเรซินชนิดโนโวแลกที่มีโครงสร้างแบบกิ่ง (highly branched phenolic Novolac resin) ลงไปในยางจะส่งผลทำให้ยางมีความแข็ง ความแข็งเกร็ง (stiffness) ความต้านทานต่อการสึกกร่อน และความทนต่อการฉีกขาดสูงขึ้น ตารางที่ 7 แสดงผลของปริมาณโนโวแลกเรซินชนิดเสริมแรงต่อค่าความแข็งของยางชนิดต่างๆ

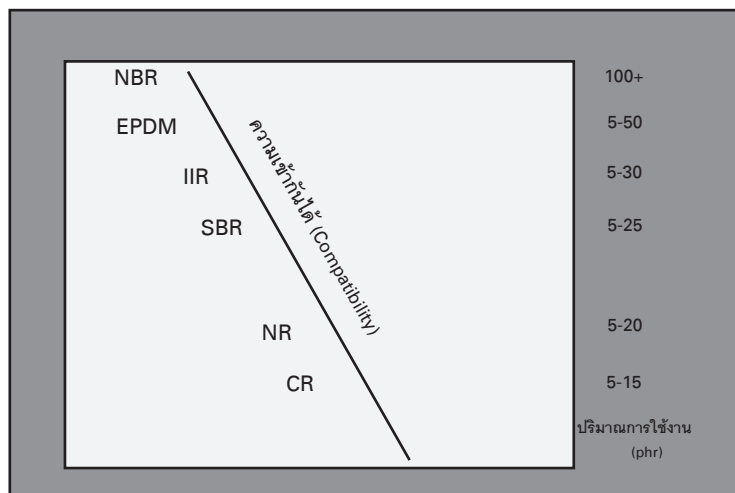
ตารางที่ 7 ผลของปริมาณโนโวแลกเรซินชนิดเสริมแรงต่อค่าความแข็ง (Shore A) ของยางชนิดต่างๆ [6]

ชนิดยาง	P-87 (phr)				P-55 (phr)			
	0	10	20	30	0	10	20	30
NBR	55	60	70	82	55	61	65	74
CR	58	71	80	89	58	75	82	84
EPDM	55	64	68	73	55	62	65	66
SBR	60	74	81	86	60	68	71	76

หมายเหตุ: P-87 คือ โนวอลกเรซินที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันมะม่วงหิมพานต์ด้วยฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ ของบริษัท Akronchem Corp.  
P-55 คือ โนวอลกเรซินที่ได้จากการดัดแปรน้ำมันทอลล์ ด้วย HEXA ของบริษัท Akronchem Corp.

จากตารางที่ 7 จะเห็นว่าการเพิ่มปริมาณโนโวแลกเรซินชนิดเสริมแรงจะส่งผลทำให้ยางมีความแข็งสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้โนโวแลกเรซินชนิดเสริมแรงจึงได้รับการนำไปใช้ในการเพิ่มความแข็งของผลิตภัณฑ์ยางบางชนิด เช่น สายพานลำเลียง (conveyor belt) และลูกกลิ้งยาง (roller)

รูปที่ 7 แสดงระดับความเข้ากันได้และปริมาณการใช้งานของโนโวแลกเรซินในยางชนิดต่างๆ จากรูปจะเห็นว่าโนโวแลกเรซินผสมเข้ากับยางไนไตรล์ (NBR) ได้ดีที่สุดในขณะที่ผสมเข้ากับยางคลอโรพรีน (CR) ได้ต่ำที่สุด ด้วยเหตุนี้ยางไนไตรล์จึงสามารถรับโนโวแลกเรซินได้ในปริมาณสูงถึง 100 phr ในขณะที่ยางคลอโรพรีนสามารถรับโนโวแลกเรซินได้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย (5-15 phr) เท่านั้น



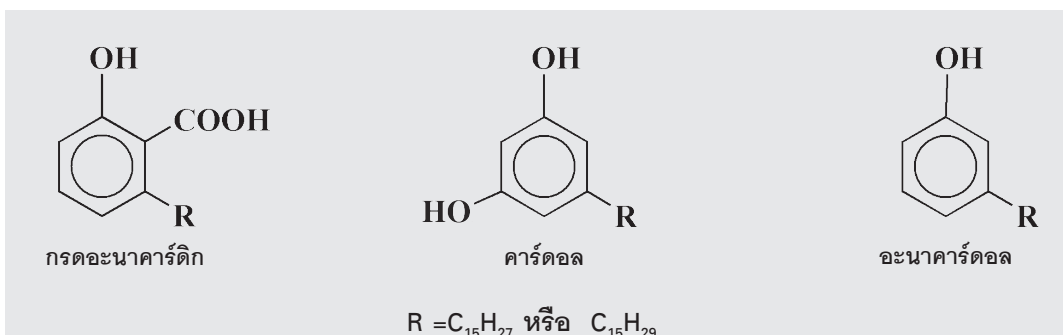
รูปที่ 7 ปริมาณการใช้งานของโนโวแลกเรซินที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้นและระดับความเข้ากันได้ของเรซินในยางชนิดต่างๆ [7]

นอกจากการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมยางแล้ว โนโวแลกเรซินยังได้รับการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมการผลิตกาว การเคลือบผิว รวมถึงการผลิตคอมโพสิตชนิดอื่นๆ ที่ต้องการสมบัติความต้านทานต่อสารเคมีและการกัดกร่อนสูง

## ฟีนอลิกเรซินจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

นอกจากโนโวแลกหรือรีไซลเรซินที่สังเคราะห์จากฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์แล้ว ยังมีการนำน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการโพลิเมอไรซ์ (polymerized cashew nut shell oil) มาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อสังเคราะห์โนโวแลกเรซินหรือรีไซลเรซินเช่นกัน

น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลเข้มที่มีกรดอะนาคาร์ดิก (anacardic acid) เป็นองค์ประกอบหลัก ในปริมาณร้อยละ 80-90 และมีคาร์ดอล (cardol) และอะนาคาร์ดอล (anacardanol) ในปริมาณร้อยละ 10-20 (ดูรูปที่ 8 ประกอบ) ตารางที่ 8 แสดงตัวอย่างน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกรดการค้า และตารางที่ 9 แสดงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์



## รูปที่ 8 องค์ประกอบของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [6]

## ตารางที่ 8 ตัวอย่างน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เกรดการค้า [5,8,9]

ชื่อทางการค้า	ลักษณะ	จุดหลอมเหลว (°C)	การนำไปใช้งาน
SP 6280	ผง	-	เหมาะสำหรับการผลิตผ้าเบรคและคลัตช์
SP 6600	ผง	65.5	นิยมใช้เป็นสารเสริมแรง ในการผลิตพื้นรองเท้า (shoe sole) และท่อแทงค์น้ำ (tank lining)

ตารางที่ 9 สมบัติทางกายภาพของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ [8]

สมบัติ	น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ไม่ผ่านการดัดแปรตามมาตรฐาน IS 840:1964	น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการดัดแปร	น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการสกัดแบบเย็น
ความถ่วงจำเพาะที่ 25°C/24°C	-	0.955-0.975	-
ความถ่วงจำเพาะที่ 26°C	-	-	0.9668-1.0131
ความถ่วงจำเพาะที่ 30°C	0.95-0.97	-	-
ความหนืดที่ 25°C (cps)	-	800 (สูงสุด)	-
ความหนืดที่ 30°C (cps)	550	-	-
ค่าดัชนีหักเหที่ 41-50°C	-	-	1.5158
ค่าไอโอดีน	250	240 (ต่ำสุด)	170-296
เถ้า (%wt)	1	1 (สูงสุด)	-
ความชื้น (%wt)	1	0.5 (สูงสุด)	-
ค่ากรด (acid number)	-	14 (สูงสุด)	94-107

การนำฟีนอลิกเรซินจากเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มาประยุกต์ใช้งาน

ในปี พ.ศ. 2547 เสาวรจน์ [11] ได้ศึกษาการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่เตรียมจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ โดยผู้วิจัยได้สังเคราะห์โนโวแลกเรซินและรีโซลเรซินจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เมื่อนำเรซินที่สังเคราะห์ได้มาเสริมแรงในยางธรรมชาติ พบว่ายางมีความแข็งแรง ความทนต่อแรงดึง 100% โมดูลัส และ 300% โมดูลัสสูงขึ้น

ในปี พ.ศ. 2550 เสาวรจน์ และคณะ [12] ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยคาร์บอนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซินที่เตรียมจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ทั้งชนิดโนโวแลกเรซินและรีโซลเรซิน โดยผู้วิจัยได้เติมเรซินลงไปในสูตรยางตั้งแต่ 30-60 phr แล้วเปรียบเทียบสมบัติของยางธรรมชาติกับสูตรควบคุม ผลการวิจัยพบว่าสมบัติเชิงกลของยางทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งของยางสูตรที่เติมเรซินจะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงกว่ายางสูตรที่ไม่เติมเรซินและยังพบว่าการใช้โนโวแลกเรซินร่วมกับ HMTA ส่งผลทำให้ยางมีค่าความทนต่อแรงดึง 100% โมดูลัส 300% โมดูลัส และความแข็งแรงสูงกว่าการใช้รีโซลเรซิน

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลของน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการโพลีเมอไรซ์ต่อสมบัติของยางผสมระหว่างยางโพลีบิวทาไดอีนกับยางธรรมชาติ ตารางที่ 10 แสดงสูตรเคมียางและสมบัติเชิงกลของยางผสม

ตารางที่ 10 สูตรผสมเคมีและสมบัติของยางผสมระหว่างยางโพลีบิวทาไดอีนกับยางธรรมชาติ [10]

สูตรผสมเคมี	ปริมาณ (phr)		
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2
ยางโพลีบิวทาไดอีน	90	90	90
ยางธรรมชาติ	10	10	10
เขม่าดำ	90	90	90
น้ำมันช่วยในการผลิต (process oil)	7.25	7.25	7.25
สารทำให้ยางนิ่ม (softener)	2	2	2
กรดไขมัน	1	1	1
ซิงก์ออกไซด์	3	3	3
น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ที่ผ่านการโพลีเมอไรซ์	-	6	6
สารหน่วงปฏิกิริยา (retarder)	0.3	0.3	0.3
สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator)	1.6	1.6	1.6
ซิงก์ออกไซด์	2	2	2
กำมะถัน	5	5	5
HMTA	-	-	0.9
<b>สมบัติ</b>			
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	21.3	19.87	18.0
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	260.9	335.6	191.3
150%โมดูลัส (MPa)	12.43	9.51	14.65
ความแข็งที่ 23°C (Shore D)	-	31	35

จากตารางที่ 10 เมื่อเปรียบเทียบยางสูตร 1 และยางสูตร 2 กับยางสูตรควบคุม พบว่ายางสูตร 1 (ไม่ใช้ HMTA) มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดสูงกว่าในขณะที่มีค่า 150%โมดูลัสต่ำกว่ายางสูตรควบคุม ส่วนกรณีของยางสูตร 2 ที่มีการใช้ HMTA เป็นสารวัลคาไนซ์ก็กลับพบผลในทางตรงกันข้าม กล่าวคือ ยางที่มีการเติมเรซินจะมีค่าการยืดตัว ณ จุดขาดต่ำกว่าในขณะที่มีค่า 150%โมดูลัสสูงกว่ายางสูตรควบคุม ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่าการใช้เรซินที่ผลิตจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการโพลีเมอไรซ์ร่วมกับ HMTA สามารถเสริมแรงและเพิ่มความแข็งแกร่ง (stiffness) ให้กับยางผสมได้

สรุป

ฟีนอลิกเรซินสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของยางในด้านต่างๆ ได้ ทั้งด้านการเสริมแรง (reinforcement) และการเพิ่มสมบัติการเหนียวติด (tack) ให้แก่ยาง ฟีนอลิกเรซินทางการค้ามีอยู่หลากหลายชนิด ดังนั้นการที่จะนำเรซินแต่ละชนิดไปใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพนั้นผู้ออกสูตรยางจำเป็นต้องศึกษาบทบาทหน้าที่ของฟีนอลิกเรซินแต่ละชนิดที่จะนำมาใช้งานด้วย

เอกสารอ้างอิง

1. Ernest, W. F., “Industrial Synthetic Resins Handbook”, William Andrew, 1992.
2. <http://pyrotechnics.no-ip.org>
3. Rodgers, B., “Rubber Compounding Chemistry and Application”, CRC Press, 2004.
4. <http://www.safic-alcan.de/en/rubber/tackifying-resins.html>
5. <http://hmroyal.com/productsearch/sorter2.cfm?sort1=prod&familyid=7>
6. Pilato, L., “Phenolic resins: A century of progress”, Springer, 2010.
7. Blum, A.W. “Phenolic resins in rubber compounds: Application and new developments” *Rubber World*, **243 (5)**, 28-36 (2011)
8. <http://www.anupindustries.net>
9. <http://www.siigroup.com/>
10. Mahanwar, P.A., Kale, D.D., “Effect of Caschew Nut Shell Liquid (CNSL) on Properties of Phenolic Resins, “ *J App Pol Sci*, **61**, 2107-2111 (1996)
11. Chuayjuljit, S., Rattanametangkool, S., Potiyaraj. P. “Preparation of Cardanol-Formaldehyde Resins from Cashew Nut Shell Liquid for the Reinforcement of Natural Rubber” *J App Pol Sci*, **104**, 1997-2002 (2007)
12. เสาวรจณ์ ช่วยจุลจิตร์ “การเสริมแรงยางธรรมชาติด้วยคาร์ดานอล-ฟอร์มาลดีไฮด์เรซินที่เตรียมจากน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์” รายงานการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547
13. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, เคมีโพลีเมอร์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2527
14. พรพรรณ นิธิอุทัย, สารเคมีสำหรับยาง. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตปัตตานี), 2528

ดารณี เจริญสุข

การศึกษา: ปริญญาโท (ปโทเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์)  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงานปัจจุบัน: เจ้าหน้าที่สารสนเทศ  
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง มหาวิทยาลัยมหิดล