

การใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) ในอุตสาหกรรม

เทคนิคเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) คือ การห่อหุ้มสารสำคัญที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ให้อยู่ภายในแคปซูล ซึ่งสารที่นำมาห่อหุ้มทำจากพอลิเมอร์หรือสารที่สามารถก่อตัวเป็นผนังหรือเปลือกหุ้มได้ (ดังรูปที่ 1) สารที่เป็นเปลือกหุ้มจะช่วยควบคุมอัตราเร็วในการปลดปล่อยสารสำคัญออกมา



รูปที่ 1 แคปซูลสำหรับการห่อหุ้มสารสำคัญ

การเลือกสารที่จะนำมาใช้เป็นเปลือกหุ้มแคปซูลควรพิจารณา ดังนี้

1. สารที่จะนำมาทำเปลือกหุ้มแคปซูลจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารสำคัญที่อยู่ภายใน
2. เปลือกหุ้มแคปซูลจะต้องปกป้องสารสำคัญที่อยู่ภายในจนกว่าจะถึงสภาวะที่เหมาะสมที่จะปลดปล่อยสารสำคัญนั้นออกมา

การนำเทคนิคเอนแคปซูเลชันมาประยุกต์ใช้งาน

อุตสาหกรรมยาง

ใน พ.ศ. 2546 Kataoka และคณะ ได้ศึกษาการใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันเพื่อนำมาใช้ควบคุมอัตราการเคลื่อนตัว และการระเหยของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ โดยศึกษาผลของการทำเอนแคปซูเลชันต่อประสิทธิภาพในการปกป้องยางของสารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มอนุพันธ์เอมีน คือ 6PPD (N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine) โดยใช้ซิลิกาเป็นเปลือกหุ้มแคปซูล แคปซูลที่เตรียมได้ หรือที่เรียกว่า MC6PPD มีขนาด 0.5-5.0 ไมครอน นำแคปซูล MC6PPD และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (6PPD) มาเติมลงในยางตามสูตร ดังตารางที่ 1 แล้วนำยางคอมพาวด์ไปทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ผลที่ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สูตรผสมเคมียาง

ยาง/สารเคมี	ปริมาณ (phr)			
	สูตร A	สูตร B	สูตร C	สูตร D
ยาง BR (oil extended BR)	137.5			
เขม่าดำ (HAF)	50.0			
ซิงก์ออกไซด์	2.0			
กรดสเตียริก	3.0			
ไซพาราฟิน	1.0			
6PPD	3.0	-	3.0	-
MC6PPD	-	8.4	-	8.4
สารคู่ควบไซเลน	-	-	1.0	1.0
กำมะถัน	1.3			
CBS	1.0			

ตารางที่ 2 สมบัติการวัลคาไนซ์

สมบัติ	สูตร A	สูตร B	สูตร C	สูตร D
ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (นาท)				
t ₉₀	19.6	25.6	21.0	20.8
t ₁₀₀	31.5	40.2	37.7	36.7
ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์จริง (นาท)	30.0	40.0	35.0	35.0

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการใช้แคปซูล MC6PPD จะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์นานขึ้น เนื่องมาจากการหน่วงอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ของซิลิกาที่เป็นเปลือกหุ้มแคปซูล ส่วนการเติมสารคู่ควบไซเลนลงไปทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น เนื่องมาจากสารคู่ควบไซเลนสามารถลดการดูดซับสารประกอบเชิงซ้อนของซิงก์ (zinc complex) และสารคู่ควบไซเลนยังสามารถปลดปล่อยกำมะถันให้แก่ยาง จึงส่งผลให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์ พบว่า การเติมสารคู่ควบไซเลนจะทำให้ยางวัลคาไนซ์มีค่าโมดูลัสสูงกว่ายางที่ไม่ได้เติมสารคู่ควบไซเลน และเมื่อทำการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อการหักงอ พบว่ายางสูตรที่ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่อยู่ในแคปซูล MC6PPD (สูตร B และ สูตร D) มีอัตราการขยายตัวของรอยแตกต่ำกว่ายางสูตรที่ใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ไม่ได้อยู่ในแคปซูล (สูตร A และ สูตร C) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การทำแอนแคปซูลชั้นของสารป้องกันการเสื่อมสภาพสามารถช่วยควบคุมอัตราการปลดปล่อยสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (6PPD) เคลื่อนตัวมายังผิวยางข้างลง ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพข้างลงและยังช่วยลดปัญหาการตกสีและเปลี่ยนสียางอีกด้วย

ใน พ.ศ. 2549 Heijkamts, R. และคณะ ได้ศึกษาการใช้เทคนิคแอนแคปซูลชั้นในการควบคุมอัตราการวัลคาไนซ์ยางด้วยกำมะถัน การเตรียมแคปซูลโดยใช้พอลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) เป็นเปลือกหุ้มแคปซูล โดยใช้ห่อหุ้มตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วมาก 2 ชนิด คือ ซิงก์ไอโซโพรพิลแซนเทต (ZIX) และซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDEC) ขนาด

แคปซูล ZIX ขนาด 5-30 ไมครอน แคปซูล ZDEC มีขนาด 3-15 ไมครอน หลังจากนั้นนำ ZIX และ ZDEC ทั้งชนิดที่ห่อหุ้มและไม่ห่อหุ้มแคปซูลไปผสมกับยาง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรผสมเคมียาง

ยาง/สารเคมี	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติเหลว	100.0
กำมะถัน	3.0
ซิงก์ออกไซด์	4.0
กรดสเตียริก	3.0
สารตัวเร่งปฏิกิริยา	2.0

เมื่อผสมยางและสารเคมีแล้ว นำยางคอมพาวด์ไปวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่า การทำเอนแคปซูลจะช่วยให้ระยะเวลาสกออร์ช (scorch) ที่อุณหภูมิ 80 และ 100 องศาเซลเซียส กล่าวคือ เปลือกหุ้มแคปซูลจะเป็นเกราะป้องกันสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ภายในแคปซูลให้ค่อยๆ แพร่ออกจากแคปซูล แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (มากกว่า 100 องศาเซลเซียส) ผนังเปลือกหุ้มที่ทำจาก PMMA ก็จะทำให้เกิดการอ่อนตัว ทำให้โครงสร้างแคปซูลเสียหายไป ส่วนการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส พบว่า สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ในแคปซูลและสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ได้อยู่ในแคปซูลให้ลักษณะการวัลคาไนซ์ที่ไม่ต่างกัน

ดังนั้นจากงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าการใช้เทคนิคเอนแคปซูลจะช่วยให้ควบคุมอัตราเร็วในการปลดปล่อยสารตัวเร่งปฏิกิริยาออกสู่ยางได้ ซึ่งการนำเทคนิคเอนแคปซูลมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยาง สามารถช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น เช่น

- กรณีที่ใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็ว การใช้เทคนิคนี้จะช่วยยืดระยะเวลาในการสกออร์ช ทำให้สามารถช่วยลดปัญหาการเกิดยางตาย
- ผู้ผลิตสามารถปรับอัตราการวัลคาไนซ์ได้ตามต้องการโดยไม่ต้องเปลี่ยนชนิดสารตัวเร่งปฏิกิริยา
- ช่วยลดปัญหาการบลูม (bloom) ของสารเคมีต่างๆ ได้

อุตสาหกรรมเกษตร

การนำยางธรรมชาติมาผลิตปุ๋ยที่สามารถควบคุมการปลดปล่อย วิธีการคือ นำปุ๋ยเคมีมาบรรจุในสารเคลือบพอลิเมอร์/ยางธรรมชาติ ซึ่งสารเคลือบนี้จะควบคุมการปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง

ใน พ.ศ. 2551 สะอาด ริยะจันทร์ และคณะ จากภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้ศึกษาการควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียโดยใช้ยางธรรมชาติ คณะวิจัยได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมแคปซูลปุ๋ย 3 วิธี คือ 1) การเตรียมแคปซูลปุ๋ยโดยการเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติโดยตรง 2) การเตรียมแคปซูลปุ๋ยจากขานอ้อยเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ 3) การเตรียมแคปซูลปุ๋ยจากโฟมยางธรรมชาติเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ งานวิจัยดังกล่าวศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำยางที่ใช้เคลือบและอัตราการปลดปล่อย กรณีการเตรียมแคปซูลปุ๋ยโดยการเคลือบน้ำยางธรรมชาติโดยตรง พบว่า แคปซูลที่เตรียมขึ้นจากการเคลือบ 5 ชั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.78 มิลลิเมตร สามารถควบคุมการปลดปล่อยปุ๋ยจากแคปซูลในน้ำได้นาน 9 ชั่วโมง

ส่วนตัวกลางที่เป็นดินควบคุมได้ 120 ชั่วโมง สำหรับกรณีการเตรียมแคปซูลปุ๋ยจากชานอ้อยเคลือบน้ำยางธรรมชาติซึ่งก่อนที่จะทำการเคลือบนั้นขนาดของรูพรุนชานอ้อยมีขนาดรูพรุน 0.10 มิลลิเมตร เมื่อเคลือบน้ำยางธรรมชาติ พบว่า การปลดปล่อยของปุ๋ยจากแคปซูลมีอัตราการปลดปล่อยในน้ำได้นาน 48 ชั่วโมง ส่วนในดินได้นาน 60 วัน สำหรับกรณีของแคปซูลปุ๋ยจากโฟมยางธรรมชาติ มีขนาดของรูพรุน 0.05 มิลลิเมตร เมื่อเคลือบด้วยน้ำยางธรรมชาติ พบว่า การปลดปล่อยของปุ๋ยจากแคปซูลมีอัตราการปลดปล่อยในน้ำได้นาน 12 ชั่วโมง ส่วนในดินได้มากกว่า 30 วัน ดังนั้น อัตราการปลดปล่อยจะลดลงเมื่อจำนวนชั้นเคลือบและความเข้มข้นของน้ำยางเพิ่มขึ้น

ใน พ.ศ. 2551 อาชีวะชั้น แกสมานและคณะ จากภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี ได้ทำการศึกษาการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรียโดยใช้ยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาการเตรียมการผสมยางกับแม่ปุ๋ยด้วยเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง แล้วนำตัวอย่างไปอบโดยแปรอุณหภูมิ ตั้งแต่ 60-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-6 วัน จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาแช่น้ำเพื่อหาปริมาณปุ๋ยที่ปลดปล่อยออกมา โดยเทียบกับปุ๋ยสูตรทางการค้า (สูตร 15-15-15 และสูตร 16-20-0) คณะวิจัยได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อการปลดปล่อยปุ๋ยยูเรีย ได้แก่ ปริมาณปุ๋ย ระบบการวัลคาไนซ์ ชนิดสารตัวเติม การแช่น้ำ พบว่า ความเข้มข้นของแม่ปุ๋ย สูตร 7.5-7.5-7.5 และสูตร 8-10-0 จะมีการชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยที่ดี ส่วนระบบการวัลคาไนซ์ พบว่า ระบบการวัลคาไนซ์ แบบ CV และแบบ EV ให้ผลการชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยที่ดี และอุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ยางผสมปุ๋ยทั้งสองสูตรให้ผลการชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยที่ดี นอกจากนี้ การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมให้ผลการชะลอการปลดปล่อยปุ๋ยในระดับดี และเมื่อนำยางผสมปุ๋ยทั้งสองสูตรมาแช่น้ำ พบว่า ยางผสมปุ๋ยให้ผลการปลดปล่อยปุ๋ยช้ากว่าปุ๋ยทางการค้า

ดังนั้น เทคนิคเอนแคปซูลชั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมได้หลากหลาย ถือว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่น่าสนใจที่นักวิจัยหรือผู้ประกอบการสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

1. Kataoka, T., et. al., "Prevention of rubber degradation by use of microencapsulate antioxidants" *Rubber Chem Techno.* 76, 948-956 (2003)
2. Heijkants, R. et. al., "Controlled sulfur vulcanization of NR" *Rubber World*, 235(2), 20-23 (2006)
3. บทสรุปและการสังเคราะห์โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา ปี 2550-2552 (เล่มที่ 2). กรุงเทพมหานคร: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2555
4. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง ปีที่ 2 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2551