

# การวัลคาไนซ์อย่างด้วยลำอิเล็กตรอน

ปัจจุบันได้มีการนำรังสีต่างๆ มาใช้ในการวัลคาไนซ์อย่างมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้ลำอิเล็กตรอน (electron beam) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้อัตราเร็วในการวัลคาไนซ์สูงมาก และมีความสม่ำเสมอมากกว่าการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกัมมันต์ ถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีการวัลคาไนซ์ที่ใช้พลังงานน้อย มีความปลอดภัยจากสารเคมี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ลำอิเล็กตรอน เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้นแต่มีความถี่สูงกว่ารังสีอื่นๆ พลังงานที่เกิดขึ้นมีความสามารถในการทะลุทะลวงสูง ซึ่งค่าความถี่และความยาวคลื่นของลำอิเล็กตรอนเปรียบเทียบกับรังสีประเภทต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

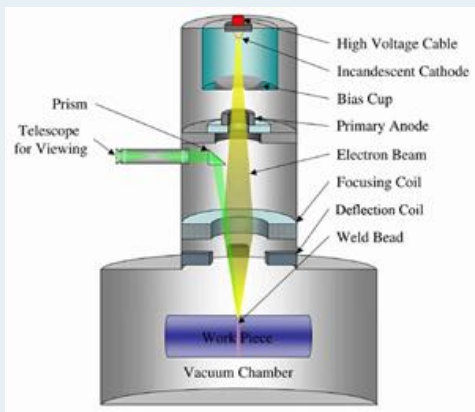
ตารางที่ 1 ความถี่และความยาวคลื่นของรังสีประเภทต่างๆ [1]

รังสี	ความถี่ (Hz)	ความยาวคลื่น ( $\mu\text{m}$ )
ลำอิเล็กตรอน	$10^{21} - 10^{18}$	$10^{-7} - 10^{-4}$
อัลตราไวโอเล็ต	$10^{17} - 10^{15}$	$10^{-2} - 1$
อินฟราเรด	$10^{15} - 10^{12}$	1 - 100
ไมโครเวฟ	$10^{12} - 10^{10}$	$10^3 - 10^5$

## การวัลคาไนซ์อย่างด้วยลำอิเล็กตรอน

ลำอิเล็กตรอนผลิตจากเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (electron accelerator) ประกอบด้วยเครื่องยิงอิเล็กตรอน (electron gun or injector) ที่ถูกเร่งให้มีความต่างศักย์ 150-250,000 โวลต์ ภายใต้สภาวะสุญญากาศ อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ทะลุผ่านช่องกระจกไปยังผลิตภัณฑ์เป้าหมาย

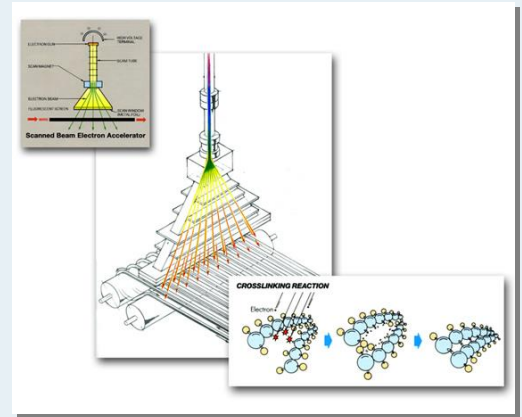
กลไกที่เกิดขึ้นเมื่อฉายลำอิเล็กตรอนลงบนวัสดุ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนวงนอกสุดที่โคจรรอบนิวเคลียสของวัสดุและเกิดการหลุดออกจากอะตอมได้เป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) อิเล็กตรอนบางตัวที่ได้รับพลังงานจากลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและมีพลังงานสูงขึ้นไปทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ (free radical) ดังนั้นเมื่อฉายลำอิเล็กตรอนลงบนยางจะสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นทั้งการตัดสายโซ่ (chain scission) และการเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslinking) ไปพร้อมๆ กัน ผลที่ได้จะขึ้นกับว่าปฏิกิริยาใดสามารถเกิดขึ้นได้มากกว่ากัน



รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดลำอิเล็กตรอน [2]

## ข้อดีของการวัลคาไนซ์ด้วยลำอิเล็กตรอน

การวัลคาไนซ์ด้วยลำอิเล็กตรอนเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปในระบบ ไม่มีของเสียเกิดขึ้น ในกระบวนการผลิต ไม่ก่อให้เกิดรังสีตกค้าง นอกจากนี้ยังสามารถที่จะควบคุม การผลิตลำอิเล็กตรอนได้ด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์ และยังสามารถวัลคาไนซ์ยาง ที่อุณหภูมิห้องได้ และเมื่อวัลคาไนซ์ยางด้วยลำอิเล็กตรอนร่วมกับระบบ กำมะถันจะทำให้เกิดระบบการเชื่อมโยงพันธะผสมระหว่างพันธะคาร์บอน- คาร์บอนกับพันธะกำมะถัน-กำมะถัน ที่มีความแข็งแรงสูง



## การประยุกต์ใช้

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีลำอิเล็กตรอนไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท แต่อุตสาหกรรมที่มีการใช้ เทคโนโลยีนี้มากที่สุดคือ อุตสาหกรรมยางล้อ แต่การวัลคาไนซ์ยางล้อทั้งเส้นด้วยลำอิเล็กตรอนหรือรังสีอื่นๆ ยังไม่ค่อยประสบความสำเร็จและยังไม่สามารถใช้งานได้จริง การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้จึงเป็นการใช้ลำอิเล็กตรอนมาฉายลงบนส่วนประกอบของ ยางล้อบางส่วนก่อนเพื่อทำการพรีวัลคาไนซ์ (pre-vulcanisation) แล้วจึงนำส่วนประกอบต่างๆ มาประกอบเป็นล้อยางแล้ว นำมาวัลคาไนซ์ต่อ จะช่วยให้ล้อยางสามารถวัลคาไนซ์ได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ยางล้อที่ผลิตจากส่วนประกอบที่ผ่านการฉายลำอิเล็กตรอนจะมีสมบัติต่างๆ เช่น ความแข็งแรง (green strength) เพิ่มขึ้น ความต้านทานการซึมผ่านที่สูงขึ้น และ ยังช่วยป้องกันไม่ให้คอร์ด (cord) เคลื่อนที่ระหว่างการวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ยังช่วยลดเวลาการวัลคาไนซ์ ลดต้นทุนการผลิต (ลดวัตถุดิบและของเสีย) และยังสามารถเพิ่มผลผลิตภาพในการผลิตอีกด้วย

ในปี ค.ศ 2010 Chakraborty, S.K. ได้ทำการศึกษาผลของการฉายลำอิเล็กตรอนแก่ส่วนประกอบของยางล้อ คือ ดอกยางและยางบุเคลือบผิวภายใน เพื่อหาปริมาณลำอิเล็กตรอนที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ โดยปริมาณลำอิเล็กตรอนที่ใช้ในการศึกษาอยู่ในช่วง 5-15 Mrad ใช้พลังงานในการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอน (accelerator energy) 1.8 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ และ กระแสลำอิเล็กตรอน (beam current) 1 มิลลิแอมแปร์ และทำการศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการวัลคาไนซ์ การเหนียวติด ความแข็งแรงในการยึดติด ทางผู้วิจัยได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบเวลาวัลคาไนซ์คอมพาวด์ดอกยาง ยางบุเคลือบผิวภายในที่ได้รับการฉายลำอิเล็กตรอนเปรียบเทียบกับ การวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน ผลการศึกษาพบว่า คอมพาวด์ ที่ฉายลำอิเล็กตรอนในปริมาณที่สูงขึ้นจะใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ลดลง ในขณะที่เวลาในการวัลคาไนซ์คอมพาวด์ยางบุเคลือบผิว ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อนำยางมาทดสอบสมบัติเชิงกล ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของยางบุเคลือบผิวภายในและดอกยาง

สมบัติ	ปริมาณรังสี (Mrad)			
	0	5	10	15
<b>ยางบุเคลือบผิวภายใน</b>				
เวลาวัลคาไนซ์ที่ 150 °C (min)	25	27	26	28
100% โมดูลัส (kg/m <sup>2</sup> )	28	29	28	31
300% โมดูลัส (kg/m <sup>2</sup> )	124	135	136	143
ความทนต่อแรงดึง	199	200	200	195

สมบัติ	ปริมาณรังสี (Mrad)			
	0	5	10	15
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	475	445	440	415
ความแข็ง (Shore A)	65	66	65	65
<b>ดอกยาง</b>				
เวลาวัลคาไนซ์ที่ 150 °C (min)	13.3	11.3	9.9	9.4
100% โมดูลัส (kg/m <sup>2</sup> )	21	27	29	29
300% โมดูลัส (kg/m <sup>2</sup> )	92	131	140	112
ความทนต่อแรงดึง	241	190	186	111
การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	600	407	400	320
ความแข็ง (Shore A)	62	64	66	66
ดัชนีความต้านทานการสึกกร่อน	238	206	192	-

การทำพรีวัลคาไนซ์ส่วนประกอบยางล้อบางส่วนด้วยลำอิเล็กตรอนร่วมกับการวัลคาไนซ์แบบเดิม (ใช้กำมะถันร่วมกับความร้อน) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะทั้งแบบพันธะคาร์บอน-คาร์บอน และพันธะกำมะถัน-กำมะถัน สามารถช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของยางล้อได้ ส่วนกรณีของดอกยางที่ผ่านการฉายลำอิเล็กตรอนจะช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนของดอกยาง ผู้วิจัยได้รายงานว่าการใช้ลำอิเล็กตรอนจะสามารถผลิตยางล้อที่มีคุณภาพดีขึ้นประมาณร้อยละ 14 และสามารถเพิ่มผลผลิตภาพในการผลิตยางล้อได้ถึงร้อยละ 15

สำหรับอุตสาหกรรมยางอื่นๆ ได้มีการนำเทคโนโลยีการวัลคาไนซ์ยางด้วยลำอิเล็กตรอนมาประยุกต์ใช้ในการผลิต เช่น สายไฟสายเคเบิล ซีล ข้อต่อ ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง

### แหล่งอ้างอิง

1. Chakraborty, S.K. "Electron beam radiation for improved quality and productivity", *Tire Technology International*, 2010
2. <http://www.rubbercenter.org>
3. <http://www.joiningtech.com/industry-references/welding-types/electron-beam-welding>
4. <http://rscnuclearcable.com/capabilities.htm>

