



ประสงค์ เมธีพิณกุล
อธ., นักวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์ประถมศึกษา สสว.
E-mail : pmeat@ipst.ac.th

จากหิ่งห้อย สู่แท่งเรืองแสง

▲ ภาพการเรืองแสงของหิ่งห้อย
มาจาก: <http://www.maeklongtoday.com/mknana/firefly2.htm>

▼ ภาพแท่งเรืองแสง
มาจาก : <http://science.howstuffworks.com/light-stick.htm>



หลายท่านคงรู้จักแท่งเรืองแสง บางท่านคงเคยสัมผัสหรือเคยเล่นของเล่นเหล่านี้มาแล้ว แท่งเรืองแสงที่เราเห็นทุกวันนี้ นักเคมีต้องใช้ความพยายามคิดค้นและพัฒนากันมานาน ปัจจุบันเราสามารถพัฒนาแท่งเรืองแสงให้มีความสวยงาม

และมีความหลากหลาย ทั้งขนาด สี รูปแบบระยะเวลาในการเรืองแสง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ที่มาของแท่งเรืองแสง เริ่มจากการศึกษาการเรืองแสงของสิ่งมีชีวิตจากธรรมชาติที่เรา รู้จักกันดีคือ “หิ่งห้อย” จากนั้นได้มีการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเรืองแสง และพัฒนาเป็นแท่งเรืองแสงอย่างที่เรเห็น และใช้กันอยู่ทุกวันนี้

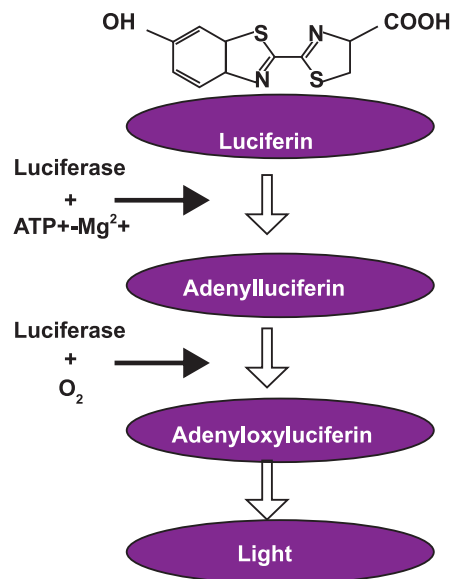
หิ่งห้อยเรืองแสงได้อย่างไร

มนุษย์เห็นแสงหิ่งห้อยในยามค่ำคืนส่องแสงกระพริบระยิบระยับ ทำให้สงสัยว่า การเรืองแสงของหิ่งห้อยเกิดขึ้นได้อย่างไร จึงมีการศึกษาหาคำตอบกันมากมาย จนพบว่าการเรืองแสงของหิ่งห้อย เป็นพฤติกรรมสร้างความสนใจให้เพศตรงข้าม โดยตัวผู้จะส่งแสงกระพริบเกี่ยวพาราสีตัวเมียก่อน หากตัวเมียพอใจก็จะส่งแสงกระพริบตอบ จากนั้นตัวผู้จึงจะบินเข้าไปหาตัวเมียเพื่อผสมพันธุ์

มนุษย์ให้ความสนใจในการศึกษาการเรืองแสงของหิ่งห้อยว่า มีสารเคมีอะไรที่เกี่ยวข้อง พบว่าภายในท้องของหิ่งห้อยมีสารลูซิเฟอริน (luciferin) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ และมีเอนไซม์ ลูซิเฟอเรส (luciferase) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั้น จะต้องใช้พลังงานจากสาร ATP (Adenosine Triphosphate.) และ Mg^{2+} ทำให้ได้สาร Adenyluciferin ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนต่อ ทำให้ได้สาร Adenyloxyluciferin และแสงออกมาดังภาพประกอบ

ประสิทธิภาพการเรืองแสงของหิ่งห้อยจะมีประมาณ 88 % เนื่องจากได้สูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อยมาก ดังนั้นเมื่อสัมผัสท้องหิ่งห้อยจะรู้สึกเย็น จึงนิยมเรียกแสงสว่างจากหิ่งห้อยว่าแสงเย็น (cold light)

ปฏิกิริยาที่กล่าวมานี้ นับเป็นจุดเริ่มต้นในการศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเรืองแสง และนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้สนใจ ศึกษาการเรืองแสงของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ อีก และนำไปสู่การศึกษาสารเคมีอื่นๆ ที่เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีกันแล้ว จะทำให้เกิดการเรืองแสงได้ในที่สุด

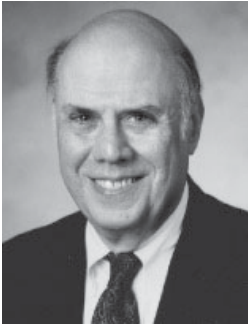


มาจาก : <http://www.iisc.ernet.in/academy/resonance/Sept2002/pdf/Sept2002p49-55.pdf>

Rouhut ได้กล่าวไว้ว่า “มันเป็นโครงการที่ใหญ่มาก” และ “มีสิ่งประหลาดเกิดขึ้นมากมาย” เมื่อมีการกล่าวถึงงานวิจัยที่เขาค้นพบ แนนอนสิ่งที่มีวิสัยของ Rouhut ค้นพบ เป็นความก้าวหน้ามากเกี่ยวกับการพัฒนาปฏิกิริยาเคมี ที่ทำให้เกิดการเรืองแสง

จุดเริ่มต้นของแท่งเรืองแสง

นักเคมีได้ให้ความสนใจ และทดลองหาสารเคมีที่ทำให้เกิดการเรืองแสงเหมือนหิ่งห้อย Edwin A. Chandross



คือผู้หนึ่งซึ่งทำงานอยู่ที่ห้องปฏิบัติการ Bell Labs ที่ Murray Hill, N.J.

ในช่วงทศวรรษที่ 1960 เขาได้ทดลองหาคำอธิบายเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี ที่ทำให้เกิดการเรืองแสง จนพบว่าสารประกอบจำพวกเปอร์ออกไซด์

จะให้ผลดี และยังพบอีกว่า เมื่อผสมสาร Oxalyl chloride กับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (หรือที่เราจำกันดีว่าเป็นน้ำยาล้างแผล) กับสารเรืองแสงบางชนิด จะให้พลังงานออกมาในรูปของแสง

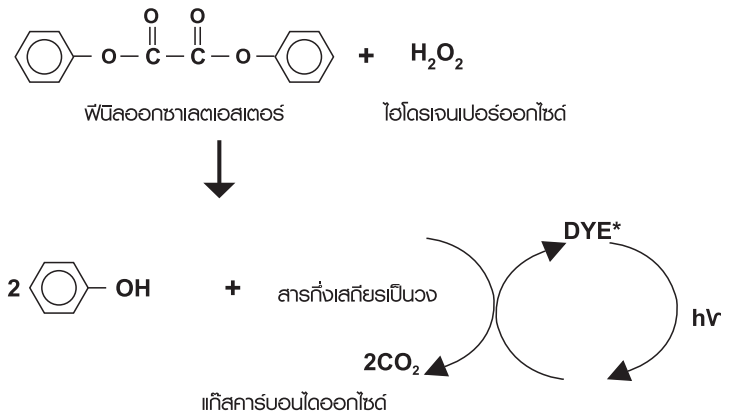
แต่เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ขณะนั้น มีประสิทธิภาพในการเรืองแสงน้อยเพียง 0.1 % เท่านั้นเอง จึงน่าเสียดายที่ Chandross ไม่ได้ให้ความสนใจในสิ่งที่เขาพบ จึงไม่ได้จดสิทธิบัตร นี่เป็นอุทาหรณ์ของนักวิทยาศาสตร์ว่า เมื่อเราค้นพบอะไร ไม่ว่าจะเป็นการค้นพบเพียงน้อยนิด ก็ควรจดสิทธิบัตรไว้ อย่างไรก็ตามท่านก็มีงานวิจัยทางเคมีอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ และเป็นที่ยอมรับกันในหมู่นักวิจัยอีกมากมาย นับว่าเป็นบุคคลที่ควรได้รับการยกย่องท่านหนึ่ง

ในช่วงเวลาเดียวกัน นักเคมีอีกกลุ่มคือ Michael M. Rouhut กับ Laszlo J. Bolyky จาก สถาบันวิจัย American Cyanamid ซึ่งได้ทดลองตามแนวทางที่ Chandross ศึกษาไว้เกี่ยวกับปฏิกิริยาของ Oxalyl chloride แต่ทีมของ Rouhut มีจุดมุ่งหมายอย่างแรงกล้า ที่จะศึกษาปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดการเรืองแสง และนำไปใช้ประโยชน์ได้

จนในที่สุด ทีมของ Rouhut และนักเคมีอื่นๆ ได้ทดลองพบว่า สารประกอบในตระกูลออกซาเลตเอสเทอร์ (oxalate ester series) กับสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารเรืองแสง (dye) เมื่อทำปฏิกิริยากันจะทำให้เกิดการเรืองแสงได้ ซึ่งทีมงานวิจัยสามารถพัฒนาประสิทธิภาพของปฏิกิริยาเคมีให้มากขึ้นได้ จนมีประสิทธิภาพในการเรืองแสงได้ถึง 5 % และตั้งชื่อสารเคมีที่ผสมกันนี้ว่า Cyalume ต่อมาภายหลังชื่อนี้ได้กลายเป็นชื่อทางการค้าของบริษัท American Cyanamid's chemical light products แม้ว่าประสิทธิภาพที่ได้ยังน้อยมาก หากเทียบกับแสงที่ได้จากหิ่งห้อย แต่ในสมัยนั้นก็นับได้ว่ามากแล้ว

กลไกการเกิดปฏิกิริยาของแท่งเรืองแสง

สารที่นิยมใช้ในแท่งเรืองแสง (light stick) คือ ลูมินอล (luminol) และออกซาเลต (oxalate) ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาภายในแท่งเรืองแสงแสดงได้ดังนี้



DYE = สารเรืองแสง
 DYE* = สารเรืองแสงในสถานะกระตุ้น
 hν = แสงที่ตามองเห็น

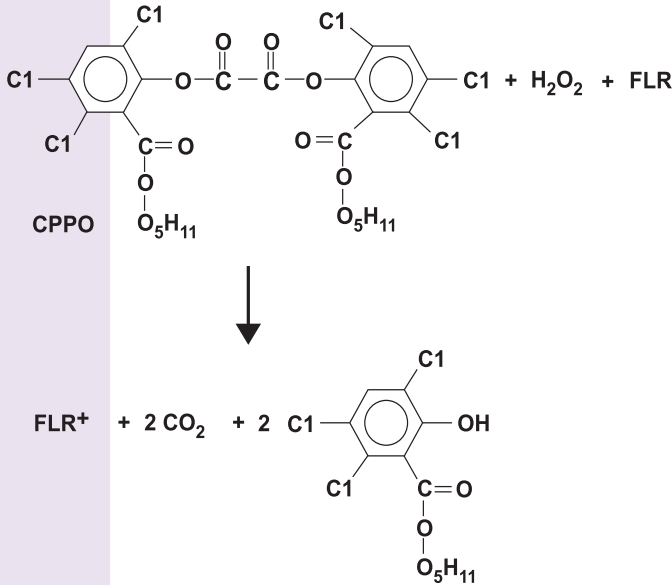
เมื่อผสมสารฟีนิลออกซาเลตเอสเทอร์กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะได้สารฟีนอลและสารกึ่งเสถียรรูปร่างเป็นวง (cyclic peroxy compound) จากนั้นสารกึ่งเสถียรรูปร่างเป็นวงนี้จะสลายตัว ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงาน โดยพลังงานที่ได้จะไปกระตุ้นสารเรืองแสง (dye) ที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) ให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) ซึ่งไม่เสถียร (dye*) จึงกลับมาอยู่ในสถานะพื้น และต้องคายพลังงานออกมาเรียกว่าโฟตอน (hr)

พลังงานที่คายออกมานี้ ถ้าอยู่ในช่วงคลื่นใด ก็จะทำให้ตาของเรามองเห็นสีในช่วงคลื่นนั้น เช่น ถ้าพลังงานที่ให้ออกมาในช่วงคลื่นสีน้ำเงิน ก็จะมองเห็นแสงสีน้ำเงิน เป็นต้น

จากหลักการดังกล่าว ถ้าเราสามารถหาสารเรืองแสงชนิดต่างๆ มารับพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวและเมื่อสารดังกล่าวถูกกระตุ้นให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น และกลับมาอยู่ในสถานะพื้น ก็จะทำให้พลังงานออกมาแตกต่างกัน ขึ้นกับสมบัติเฉพาะตัวของสารเรืองแสงนั้นๆ

ต่อมาได้มีการพัฒนาหาชนิดของสารเรืองแสง เพื่อให้ได้แสงสีต่างๆ ตามความต้องการ เช่น สีน้ำเงิน สีม่วง สีเขียว และสีเหลือง เป็นต้น ทำให้แท่งเรืองแสงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถเรืองแสงได้นานขึ้นด้วย

บริษัท American Cyanamid's Cyalume light sticks ได้ใช้สาร bis (2,4,5-trichlorophenyl-6-carbopentoxyphenyl) oxalate (CPPO) กับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารเรืองแสง fluorophorus (FLR) ผสมกันเพื่อให้เกิดสีต่างๆ ในแท่งเรืองแสง ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นแสดงได้ดังภาพ ซึ่งให้พลังงานสูงถึง 17 % นอกจากนั้นปฏิกิริยาเคมีที่คล้ายกันนี้ยังเกิดได้ในกรณีสาร bis (2,4,6-trichlorophenyl)oxalate (TCPO) กับ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อีกด้วย



ภาพปฏิกิริยาเคมีในการเกิดสารเรืองแสง

มาจาก : <http://chemistry.about.com/library/weekly/aa031703a.htm>

แสงสีต่างๆ ในแท่งเรืองแสงเกิดได้อย่างไร

การที่แท่งเรืองแสงให้แสงสีต่างๆ ได้ ขึ้นกับพลังงานที่ถูกปลดปล่อยออกมา เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะกระตุ้น ไปสู่สถานะพื้น จึงมีการศึกษาหาสารเรืองแสงชนิดต่างๆ เพื่อให้ปลดปล่อยพลังงาน จะได้สีตามที่ต้องการดังแสดงในตาราง

จากตารางแม้ Rhodamine B จะเหมาะในการให้แสงสีแดง แต่เนื่องจากสารตัวนี้ไม่เสถียร เมื่ออยู่รวมกับสารอื่น ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องเก็บแยกสารเรืองแสงสีแดงไม่ให้อยู่รวมกับสารอื่น ไม่เช่นนั้นสารจะเสื่อมสภาพไปก่อนที่จะใช้งานจริง

ตารางแสดงสารเรืองแสงที่ให้สีต่างๆ กับ	
สีที่ปรากฏ	สารเรืองแสง
น้ำเงิน	9,10-diphenylanthracene
เขียว	9,10-bis (phenylethynyl) anthracene
เหลือง	1-chloro-9,10-bis (phenylethynyl) anthracene
	5,6,11,12-tetraphenyl naphthacene. (Rubrene)
ส้ม	5,12-bis (phenylethynyl) -naphthacene
	9-(2-(ethoxycarbonyl)phenyl)-3,6-bis(ethylamino)-2,7-dimethyl-Xanthylum, chloride.(Rhodamine 6G)
แดง	9-(2-carboxyphenyl)-3,6-bis(diethylamino) xanthylum chloride. (Rhodamine B)

ส่วนประกอบ และการทำงานของแท่งเรืองแสง

แท่งเรืองแสงที่เราใช้กันอยู่ทั่วไป จะมีส่วนประกอบดังนี้

1. แท่งพลาสติก ซึ่งเป็นส่วนภายนอกของแท่งเรืองแสงที่เราใช้กัน มีสารฟีนอลออกซาเลตเอสเตอร์ และสารเรืองแสง

2. แท่งแก้ว ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแท่งพลาสติก เนื่องจากว่าแท่งแก้วนี้จะถูกบรรจุไว้ในแท่งพลาสติก ภายในแท่งแก้วจะมีสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่ออหรือหักหลอดพลาสติกของแท่งเรืองแสง จะทำให้หลอดแก้วที่อยู่ภายในแตกหรือฉีกขาด สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อยู่ในหลอดแก้ว จะออกมาทำปฏิกิริยากับสารฟีนอลออกซาเลตเอสเตอร์ และมีการปลดปล่อยพลังงานออกมา ซึ่งจะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่อยู่ในสถานะพื้น ให้ไปอยู่ในสถานะกระตุ้น และเมื่อกลับมาอยู่ในสถานะพื้นอีก ก็จะทำให้โฟตอนออกมา ทำให้เราเห็นแสง

สำหรับระยะเวลาการเรืองแสงของแท่งเรืองแสงจะเกิดได้นานเท่าไรนั้น ขึ้นกับสารเคมีที่ใช้ ซึ่งอาจเป็นเพียงไม่กี่วินาที หรือนานเป็นหลายๆ ชั่วโมงก็ได้ เมื่อให้แท่งเรืองแสงได้รับความร้อน ก็จะเกิดพลังงานเร็วขึ้น ซึ่งจะมีระยะเวลาในการให้แสงสว่างสั้นลง แต่ถ้าเราทำให้แท่งเรืองแสงเย็นลง ก็จะทำให้ปฏิกิริยาเกิดช้าลง แต่ระยะเวลาในการเรืองแสงก็จะนานขึ้น

ปัจจุบันนี้มีการผลิตแท่งเรืองแสงออกมามากมาย ทั้งขนาดเล็ก สีสี่ได้ ตลอดจนระยะเวลาในการเรืองแสงก็นานมากขึ้น ทำให้มนุษย์ได้รับประโยชน์มากมายจากแท่งเรืองแสง



ภาพ How Light Stick Work

มาจาก : <http://science.howstuffworks.com/light-stick3.htm>

ต้องขอบคุณ และยกความดีต่างๆ เหล่านี้ให้แก่นักวิทยาศาสตร์ที่คิดค้นและพัฒนาจนเป็นแท่งเรืองแสงที่เราได้ใช้งานกันทุกวันนี้ และต้องไม่ลืมกันนะคริว่า นักวิทยาศาสตร์ได้แรงบันดาลใจในการคิดค้นแท่งเรืองแสง จากพฤติกรรมของแมลงตัวน้อยๆ ที่คนไทยรู้จักกันดีในนาม "หิ่งห้อย" ซึ่งปัจจุบันเราพบว่าหิ่งห้อยมีจำนวนลดน้อยลง ตรงกันข้ามกับแท่งเรืองแสงที่มีหลากหลายแบบและหลายสีได้ถูกพัฒนาขึ้น เรามาช่วยกันรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้หิ่งห้อยได้มีชีวิตอยู่ส่องแสงระยิบระยับในเวลาค่ำคืน เพื่อให้ลูกหลานของเราได้เห็นและศึกษากันต่อไปดีกว่านี้ อาจถือเป็นการตอบแทนบุญคุณแก่หิ่งห้อย ที่ทำให้เราได้มีสิ่งดีๆ ใช้กันทุกวันนี้

