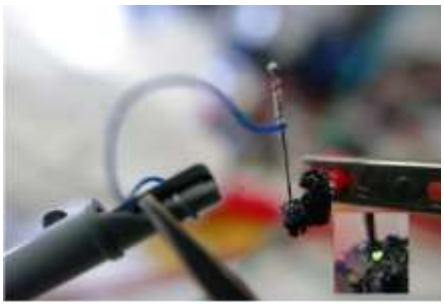
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีแอลอีดี

ความเป็นมาของแอลอีดี

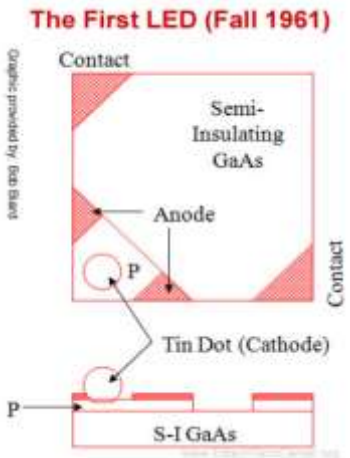
ปรากฏการณ์การเปล่งแสงออกจากสารกึ่งตัวนำ ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1907 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษ เฮนรี ราวนด์ (Henry Round) ของบริษัทมาร์โคนีแล็บส์(Marconi Labs) โดยไดสังเกตพบวาสารกึ่งตัวนำที่ทดลองสามารถเปลงแสงออกมา ดังในรูปที่ 2.1.1 ในช่วงกลางของทศวรรษที่ 1920 มีนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ โอเล็ก วลาดิมิโรวิช โลเซฟ (Oleg Vladimirovich Losev) ดังในรูปที่ 2.1.2 ได้ประดิษฐ์แอลอีดีชิ้นแรกออกมาสำเร็จ โดยไม่เคยทราบเรื่องค้นพบของเฮนรี ราวด์ จากบริษัทมาร์โคนีแล็บส์มาก่อน ซึ่งผลงานวิจัยของนักวิทยาศาสตร์รัสเซียท่านนี้ ได้ถูกตีพิมพ์ในวารสารทางวิทยาศาสตร์หลายฉบับทั้งในประเทศรัสเซีย เยอรมนีและอังกฤษ แต่ก็ยังไม่มีการนำไปใช้ในทางปฏิบัติสำหรับการค้นพบในครั้งนั้น



รูปที่ 2.1.1 การเปล่งแสงจากสารกึ่งตัวนำพบโดยเฮนรี ราวนด์
(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

รูปที่ 2.1.2 โอเล็ก วลาดิมิโรวิช โลเซฟ ผู้ประดิษฐ์แอลอีดีเป็นคนแรก
(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2013)

ในการพัฒนาไดโอดเปล่งแสงหรือแอลอีดีนั้น ถือได้ว่าเริ่มอย่างจริงจังในปี ค.ศ.1955 เมื่อนายรูบิน บราวน์สไตน์ (Rubin Braunstein) นักวิทยาศาสตร์ของบริษัทอาร์ซีเอ (RCA - Radio Corporation of America) ได้รายงานถึง เรื่องการเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาของสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) และสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น ๆ นายรูบิน บราวน์สไตน์ สังเกตพบว่า มีการเปล่งรังสีอินฟราเรดจากไดโอด ซึ่งใช้สารกึ่งตัวนำผสมชนิดต่าง ๆ คือ GaSb, GaAs, InP และ SiGe ณ ที่อุณหภูมิห้องและที่ 77 เคลวิน ต่อมาในปี ค.ศ.1961 เจม บาร์ด และ แกรี พิทแมน (James R. Biard and Gary Pittman) นักวิจัยของบริษัทเทกซัสอินสทรูเมนท์ (Texas Instruments) พบการเปล่งรังสีอินฟราเรดออกมาของสาร GaAs เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า และจากการค้นพบครั้งนั้น บาร์ดและพิทแมนได้จดสิทธิบัตรในหัวข้อ “Semiconductor Radiant Diode” (Wikipedia-LED, 2017)



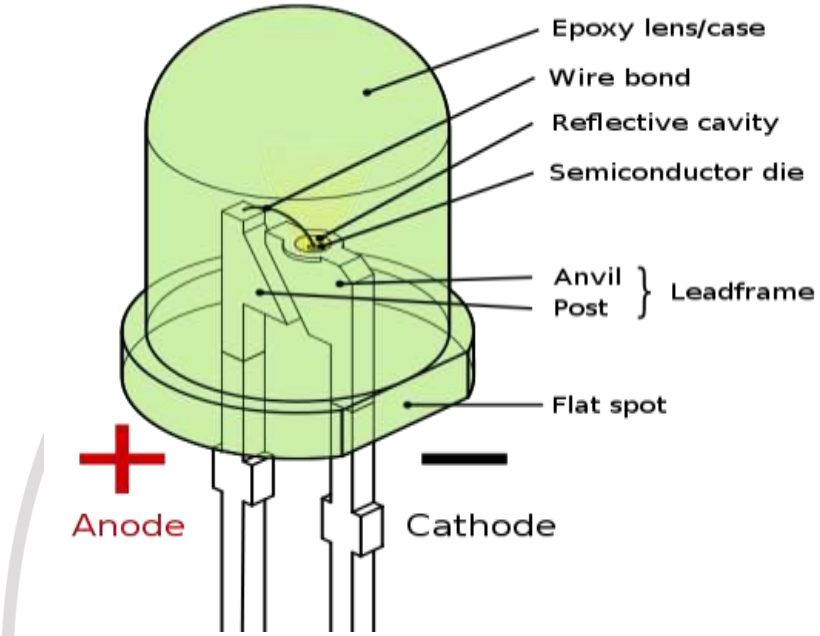
รูปที่ 2.1.3 ไดอะแกรมของแอลอีดีตัวแรก
(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

ภายหลังจากพบการเปล่งแสงของสารกึ่งตัวนำ ต่อมาในปี ค.ศ.1962 นิก โฮลอนแยค (Nick Holonyak) นักวิจัยของบริษัทเจนเนอรัลอิเล็กตริก ประสบความสำเร็จสามารถประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีแดงเป็นครั้งแรก ซึ่งแสงที่ได้นี้มีปริมาณความสว่างมากพอ ที่จะนำมาใชประโยชนได โฮลอนแยค ได้รับการยกย่องจากคนบางกลุ่มว่าเป็น บิดาของแอลอีดี (father of the light-emitting diode) (Wikipedia-LED, 2017) ในปี ค.ศ.1972 จอร์จ คราฟอร์ด (George Craford) ได้ประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีเหลืองเป็นครั้งแรก แอลอีดีที่ไดจากการวิจัยและพัฒนาในชวงแรกนั้นให้แสงสว่างออกมาในปริมาณที่นอยมาก ที่สำคัญคือ ยังไม่สามารถประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีขาวออกมาได้ มีผลให้ยังไม่อาจนำแอลอีดีไปใชประโยชน์ด้านแสงสวางได้โดยตรง ทำได้เพียงแต่นำไปใชเป็นปุมสัญญาณแสงสีตาง ๆ ในอุปกรณได้เท่านั้น เช่น ติดตั้งแอลอีดีในอุปกรณ์เพื่อแสดงสัญญาณวา เครื่องนั้นเปด/ปด เป็นต้น ในปี ค.ศ. 1994 ชูจิ นากามูระ (Shuji Nakamura) นักวิจัยญี่ปุ่นของบริษัทนิชิอะ (Nichia) พัฒนาแอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินเป็นครั้งแรกขึ้นมาได้ (Wikipedia-LED, 2017)

สรุปประวัติความเป็นมาและการพัฒนาของแอลอีดีได้ ดังนี้ (1) ในปี ค.ศ. 1907 เฮนรี ราวนด์ (H.J. Round) จากมาร์โคนีแล็บส์ ค้นพบแสงสีน้ำเงินจากคริสตัสของซิลิคอนคาร์ไบน์ (SiC) (2) ในช่วงกลางของทศวรรษ 1920 โอเล็ก วลาดิมิโรวิช โลเซฟ (Oleg Vladimirovich Losav) ได้ประดิษฐ์แอลอีดีชิ้นแรกออกมาสำเร็จ (3) ในปี ค.ศ.1955 รูบิน บราวน์สไตน์ (Rubin Braunstein) จากบริษัทอาร์ซีเอ ค้นพบการเปล่งรังสีอินฟราเรดของสารแกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) และสารอื่น คือ GaSb, InP, SiGe (4) ในปี ค.ศ. 1961 บอบบาร์ด (Bob Biard) และ แกรี พิทแมน (Gary Pittman) จากบริษัทเทกซัสอินสทรูเมนท์ ได้จดสิทธิบัตรเป็นครั้งแรกสำหรับแอลอีดีที่ใช้สาร GaAs (5) ในปี ค.ศ. 1962 นิก โฮลอนแยค (Nick Holonyak) จากบริษัทเจนเนอรัลอิเล็กตริก ประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีแดงเป็นครั้งแรก (6) ในปี ค.ศ. 1968 บริษัทมอนซานโต ได้ผลิตแอลอีดีแสงสีแดงจำนวนมากเป็นครั้งแรก (7) ในปี ค.ศ. 1972 แจ็คคิว พานโคป (Jacques Pankove) จากบริษัทอาร์ซีเอ ได้ประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินครั้งแรกโดยใช้สารกึ่งตัวนำ GaN (8) ในปี ค.ศ. 1972 จอร์จ คราฟอร์ด (George Craford) ได้ประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีเหลืองเป็นครั้งแรก (9) ในปี ค.ศ. 1976 ทีพีเพียร์ซอล (T.P.Pearsall) ได้ใช้แอลอีดีในระบบสื่อสารเป็นครั้งแรก (10) ในปี ค.ศ. 1993 ชูจิ นากามูระ (Shuji Nakamura) จากบริษัทนิชิอะ ได้ประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินเป็นครั้งแรกโดยใช้สาร InGaN (Spiros Kitsinelis, 2011)(Wikipedia-LED, 2017)

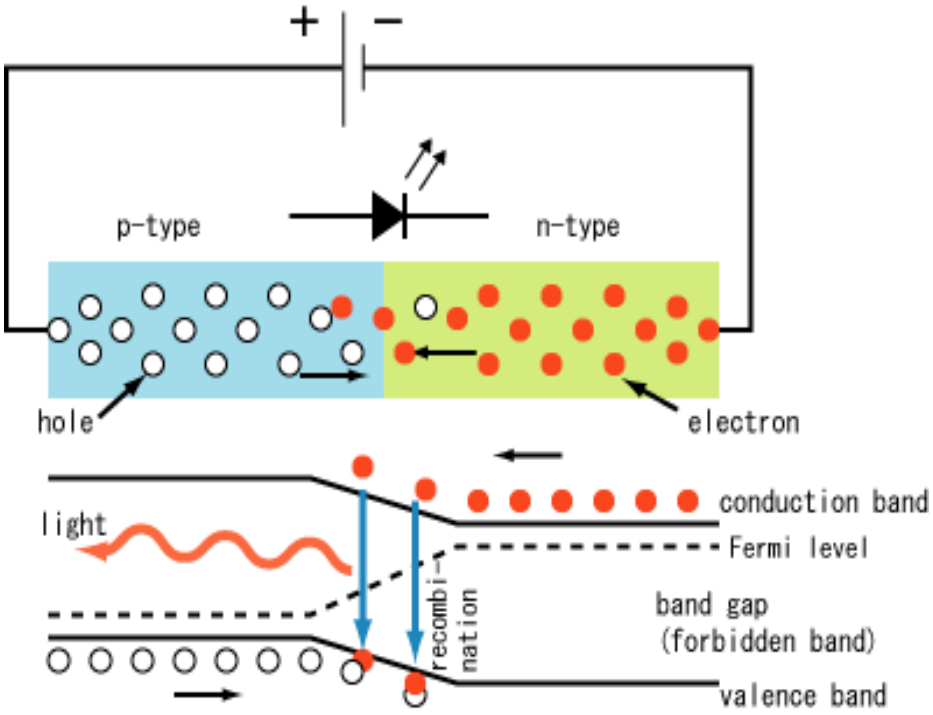
หลักการทำงานของแอลอีดี

เมื่อพิจารณาโครงสร้างแอลอีดี จะเห็นว่าในหลอดแอลอีดีประกอบด้วย แผ่นชิปสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นกับชนิดพีติดอยู่ในถ้วยสะท้อนแสง และยังมีเส้นลวดขนาดเล็กมากเชื่อมต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำและขาแอลอีดี ดังรูปที่ 2.1.4 โครงสร้างส่วนประกอบของแอลอีดี โดยชิ้นส่วนทั้งหมดบรรจุในพลาสติกใสทรงโดม ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวมแสง ลักษณะลำแสงที่ออกจากแอลอีดีขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น รูปร่างถ้วยสะท้อนแสง ขนาดชิปสารกึ่งตัวนำ รูปร่างเลนส์ ระยะระหว่างชิปกับพลาสติกที่หุ้ม เป็นต้น ในส่วนหลักการทำงานภายในของแอลอีดี จากรอยต่อพี-เอ็น มีกระแสไหลจากด้านพีหรืออาโนด ไปด้านเอ็นหรือแคโทด ตัวนำประจุเป็นอิเล็กตรอนและโฮล เมื่ออิเล็กตรอนพบกับโฮล จะตกลงไปในระดับพลังงานค่าต่ำกว่า แล้วจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของโฟตอน เป็นแสงออกมา ดังรูปที่ 2.1.5 โดยรูปบนเป็นวงจรและรูปล่างเป็นไดอะแกรมของแถบ (band diagram) ความยาวคลื่นของแสงที่เปล่งออกมา หรือสีของแสงนั่นเอง จะขึ้นกับพลังงานจากช่องว่างในแถบ (band gap energy) ของวัสดุที่ใช้สร้างรอยต่อพี-เอ็น จากการทำงานแบบสารกึ่งตัวนำ ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหว จึงมีอายุใช้งานยาวนาน จะพบว่ามีแอลอีดีจำนวนมากที่ผลิตในช่วงปี ค.ศ.1970 และ ค.ศ.1980 ยังคงใช้งานถึงปัจจุบันนี้ เนื่องจากมีอายุใช้งาน 25,000 ถึง 100,000 ชั่วโมง แต่ความร้อนและค่ากระแสที่ใช้งานจะมีผลต่อการลดหรือเพิ่มอายุใช้งานของแอลอีดีได้



รูปที่ 2.1.4 โครงสร้างของแอลอีดี

(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)



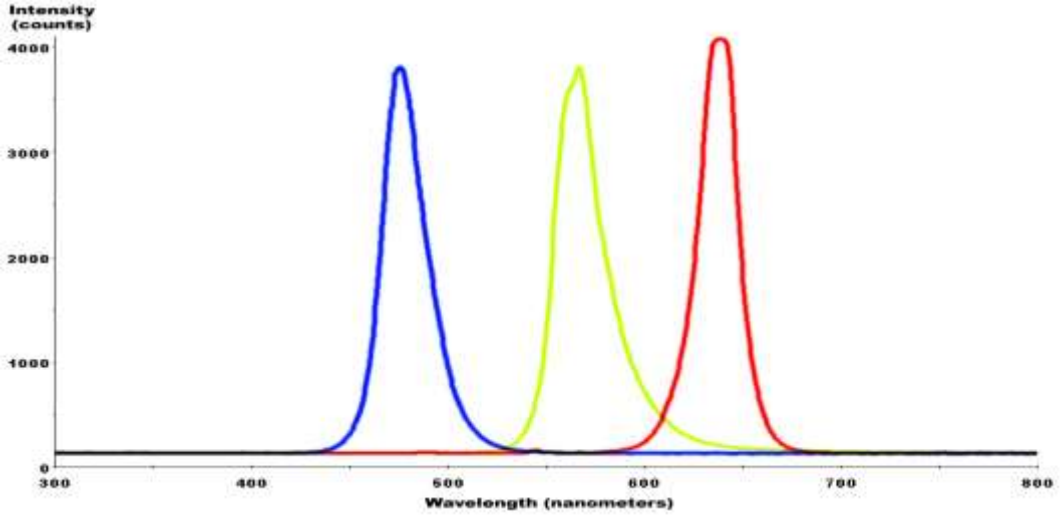
รูปที่ 2.1.5 หลักการทำงานภายในของแอลอีดี

(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

แอลอีดีแสงสีขาว

จากความเป็นมาของแอลอีดี จะเห็นว่าไม่สามารถประดิษฐ์แอลอีดีให้แสงสีขาวออกมาได้ เป็นผลให้ในช่วงแรกไม่อาจนำแอลอีดีไปใช้ประโยชน์เป็นแสงสว่างได้โดยตรง หลอดแอลอีดีโดยทั่วไป จะสามารถเปล่งแสงออกมาได้เพียงสีเดียว นั่นคือ จะมีความถี่หรือความยาวคลื่นเดียวเท่านั้น แต่ว่าแสงสีขาวประกอบไปด้วยแสงหลายสีมาผสมกัน จึงได้มีความพยายามศึกษาใช้เทคนิควิธีการต่าง ๆ เพื่อทำให้หลอดแอลอีดีสามารถเปล่งแสงสีขาวออกมาได้ ปัจจุบันนี้เทคนิควิธีที่ใช้ในการผลิตแอลอีดีให้แสงสีขาวออกมาได้มี 2 แนวทาง คือ (1) การผสมสี โดยการใช้แสงสีหลักจากแอลอีดีทั้งสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มาผสมกันเป็นแสงสีขาว (2) การเปลี่ยนความยาวคลื่น โดยจะใช้สารเรืองแสง (phosphor) ในการแปลงแสงคลื่นเดียวจากแอลอีดีสีน้ำเงินหรือแอลอีดียูวี ไปเป็นแสงสีขาวซึ่งมีช่วงคลื่นกว้างขึ้น ในลักษณะเดียวกันกับการทำงานของหลอดฟลูออเรสเซนต์นั่นเอง

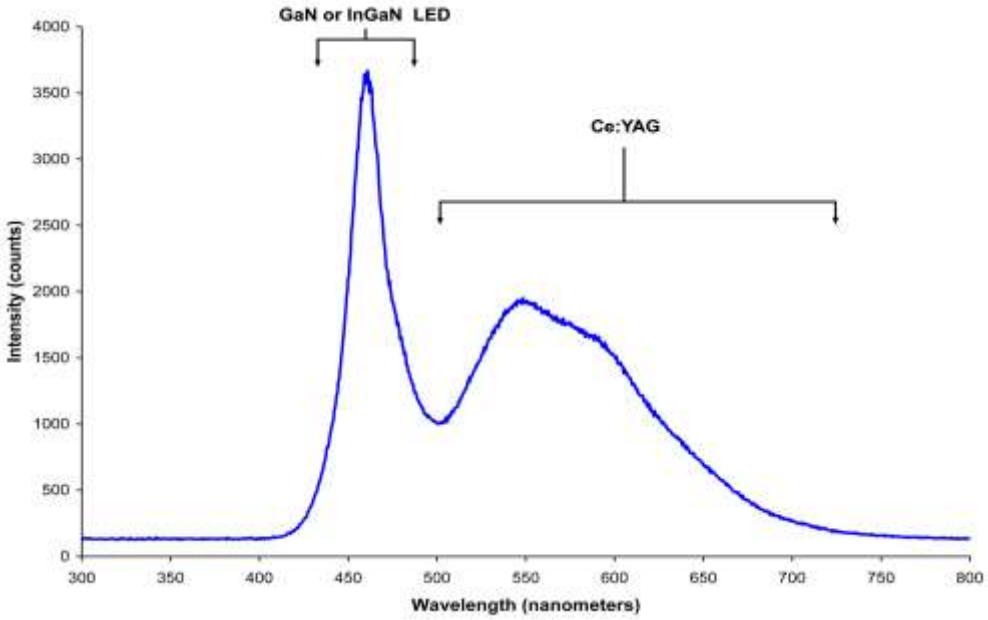
(1) การผสมสี แสงสีขาวเกิดขึ้นได้ด้วยการผสมแสงสีหลายสี วิธีที่นิยมกันมากสุด คือ ผสมแม่สีแสงหลัก 3 สี โดยตรง คือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน รวมกันจะได้แสงสีขาว บางครั้งเรียกแอลอีดีแบบนี้ในอีกชื่อว่า RGB LED ดังในรูปที่ 2.1.6 ภายในแอลอีดีนี้จะประกอบด้วยแผ่นชิปให้แสงสีแตกต่างกัน 3 ตัว เมื่อรวมแสงสีที่ออกมาจากแผ่นชิปแต่ละตัวอย่างเหมาะสม ก็ได้แสงสีขาวอย่างต้องการ มีจุดเด่นที่สามารถให้แสงสีขาวที่มีคุณภาพสูง แอลอีดีแสงสีขาวลักษณะนี้มีหลายชนิดทั้งแบบ di-, tri-, และ tetrachromatic มีหลายตัวแปรที่ใช้เปรียบเทียบคุณสมบัติแอลอีดี คือ เสถียรภาพของสี ดัชนีความถูกต้องของสี และประสิทธิผลของแอลอีดี ตัวอย่างเช่น แอลอีดีแสงสีขาวแบบ dichromatic มีประสิทธิผลดีสุด แต่มีความถูกต้องของสีต่ำสุด ขณะที่แอลอีดีสีขาวแบบ tetrachromatic มีดัชนีความถูกต้องของสีดีสุด แต่จะมีประสิทธิผลต่ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.1.6 รวมสเปกตรัมของแสงสีน้ำเงิน สีเหลืองเขียว และสีแดงเป็นแสงสีขาว

(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

(2) การเปลี่ยนความยาวคลื่น วิธีการคือ การเคลือบแอลอีดีสีหนึ่ง ด้วยสารเรืองแสงอีกสีหนึ่งที่แตกต่างกัน เพื่อให้แสงที่ออกมาเป็นแสงสีขาว นั่นคือ เป็นการเปลี่ยนความยาวคลื่นแสงจากสั้นให้ยาวขึ้นนั่นเอง จึงเรียกกันอีกชื่อว่า Phosphor-based LEDs หรือ Phosphor-converted LEDs ซึ่งจากที่ผ่านมาประยุกต์ได้ 3 รูปแบบด้วยกันคือ (1) การใช้แอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินร่วมกับสารเรืองแสงสีเหลือง (yellow phosphor) โดยที่แสงสีน้ำเงินจากแผ่นชิปสารกึ่งตัวนำ จะไปกระตุ้นสารเรืองแสงที่เคลือบอยู่ให้ปล่อยแสงสีเหลืองออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.1.7 แอลอีดีให้แสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่นค่ายอดราว 465 นาโนเมตร และด้วยสารเรืองแสงจะให้แสงที่ความยาวคลื่น 500-700 นาโนเมตร เมื่อรวมกันจะทำให้ดวงตาเห็นแสงที่ออกมาเป็นแสงสีขาว เทคนิคนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดยบริษัทนิชิอะ ของญี่ปุ่น และเป็นเทคนิคการทำแอลอีดีให้แสงสีขาวมีต้นทุนต่ำที่สุด และใช้ผลิตหลอดแอลอีดีให้แสงสีขาวส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ (2) การเคลือบแอลอีดีที่ให้แสงสีน้ำเงินด้วยสารเรืองแสงหลายสี เทคนิคนี้คล้ายกันกับเทคนิคแรก แต่จะใช้สารเรืองแสงที่ให้แม่สีแสงหลักร่วมกัน ดังนั้นเมื่อผสมแสงจากสารเรืองแสงแต่ละสีกับแสงสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน ก็จะได้แสงสีขาวเช่นกัน จุดเด่นของวิธีนี้คือ แสงสีขาวที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดีกว่าวิธีแรก แต่หลอดแอลอีดีชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าด้วยเช่นกัน (3) ใช้แอลอีดีให้แสงช่วงคลื่นแสงยูวีร่วมกับสารเรืองแสงหลายสี วิธีนี้มีรูปแบบคล้ายกับการเรืองแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยแสงยูวีจะไปกระตุ้นให้สารเรืองแสงแต่ละสีปล่อยแม่สีแสงหลักออกมาผสมกันได้เป็นแสงสีขาว



รูปที่ 2.1.7 แสงสีขาวจากแอลอีดีสีน้ำเงินและสารเคลือบเรืองแสง

(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

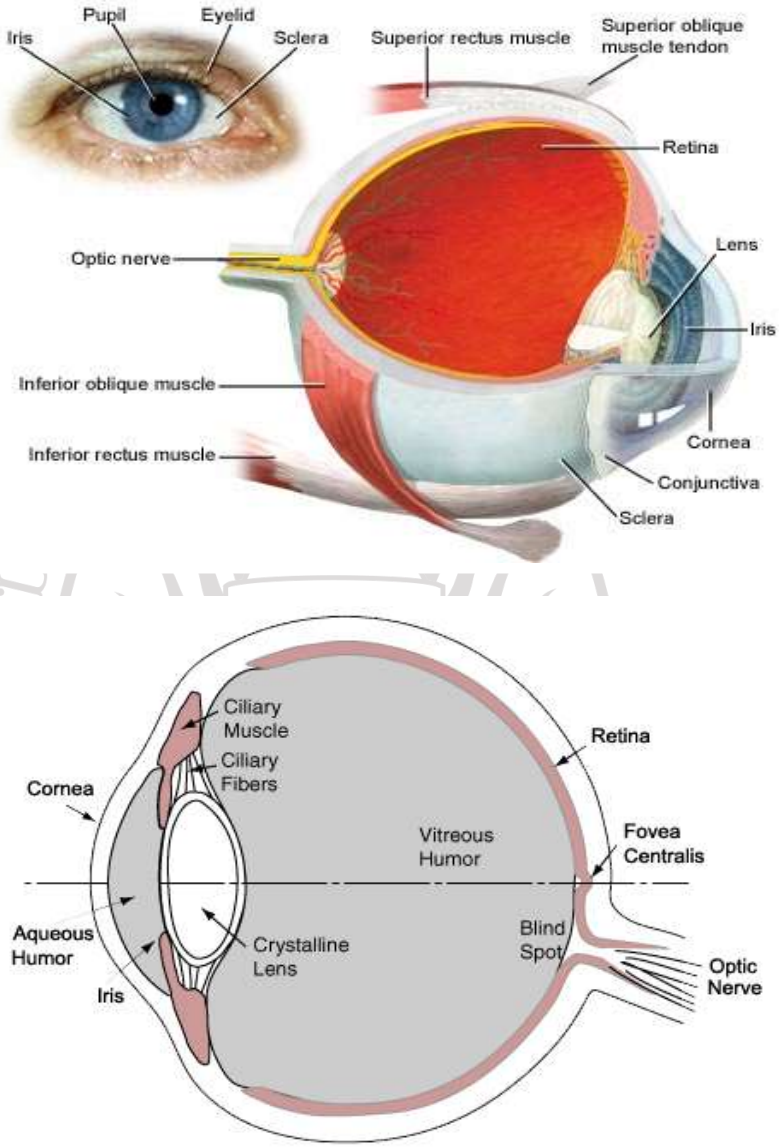
วิศวกรรมการส่องสว่าง

ดวงตาและการมองเห็น

ดวงตาของคนเราในแต่ละข้าง จะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.2.1 โดยมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมรี ภายในดวงตามีของเหลวลักษณะเป็นวุ้นใส ส่วนประกอบในลูกตา ประกอบไปด้วย (1) ตาขาว (Sclera) คือ ส่วนสีขาวของนัยน์ตา ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเหนียวไม่ยืดหยุ่นแต่แข็งแรง ทำหน้าที่หุ้มลูกตาไว้ ด้านหลังลูกตา มีกล้ามเนื้อยึดอยู่ 6 มัด ทำให้กลอกตาไปซ้ายขวาหรือขึ้นลงได้ (2) กระจกตา (Cornea) เป็นเยื่อบางใส อยู่ด้านนอกของลูกตา (3) ตาดำ หรือส่วนที่เป็น ม่านตา (Iris) มีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อที่ยืดหดได้ ตรงกลางม่านตามีรูกลมเรียกว่า รูม่านตา (Pupil) ใช้เป็นทางให้แสงผ่านอย่างเหมาะสม เช่น กรณีที่สว่างมาก ม่านตาจะหดแคบ รูม่านตาจะเล็กลง เพื่อทำให้แสงผ่านได้น้อยลง แต่ในที่สว่างน้อย ม่านตาจะเปิดกว้าง เพื่อทำให้แสงผ่านเข้าไปได้มากขึ้น (4) แก้วตาหรือเลนส์ตา (Lens) ลักษณะเป็นแผ่นใสเหมือนแก้ว คล้ายกับเลนส์นูน อยู่หลังรูม่านตา (5) กล้ามเนื้อซิลเลียรี (Ciliary Body /Ciliary Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่ยึดอยู่โดยรอบที่ขอบของแก้วตา ทำหน้าที่ปรับแก้วตาให้โค้งออกเมื่อมองภาพระยะใกล้ และปรับแก้วตาให้แบนเมื่อมองภาพระยะไกล ทำให้มองเห็นภาพได้ชัดเจนทุกระยะ (6) เอ็นยึดแก้วตา (Ciliary Zonules /Ciliary Fibers) เป็นเอ็นส่วนที่ใช้ยึดระหว่างแก้วตาและกล้ามเนื้อ นั่นคือ ใช้ในการทำหน้าที่ปรับแก้วตาโดยกล้ามเนื้อที่ยึดอยู่โดยรอบที่ขอบแก้วตานั้น กล้ามเนื้อจะปรับผ่านเอ็นยึดแก้วตา กระบวนการที่เกิดนั้น เราเรียกว่า การปรับตัวของตา (Accommodation) โดยที่ค่าขนาดของการปรับตัวของตาจะมีขนาดลดลงตามอายุคนที่เพิ่มขึ้น ทำให้การมองเห็นไม่ชัดเจน การลดลงนี้เชื่อว่าเป็นเพราะการแข็งตัวของแก้วตา ภาวะอย่างนี้เรียกว่า Presbyopia ซึ่งจะเริ่มเป็นกันเมื่อคนมีอายุราว 40 ปี ขึ้นไป (7) Fovea เป็นจุดเล็กบนเรตินา ซึ่งเป็นจุดที่มองเห็นได้ชัดที่สุด (8) ประสาทตา (Optic nerves) จะต่อเชื่อมกับเซลล์รับแสงบนเรตินา มีจำนวนนับล้านเส้น (9) เรตินาหรือจอตา (Retina) มีลักษณะเป็นผนังที่ประกอบด้วยใยประสาท เซลล์ประสาทเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นจอรับภาพ

ส่วนประกอบภายนอกตา ก็มีหน้าที่สำคัญเช่นกัน คือ (1) คิ้ว (Eyebrow) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เหงื่อไหลเข้าตา (2) ขนตา (Eyelashes) ช่วยป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองเข้าตา (3) หนังตา (Eyelids) ทำหน้าที่ช่วยปิดเปิดตาในการรับแสง และควบคุมปริมาณแสงเข้าสู่นัยน์ตา ป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับตา ใช้หลับตาเพื่อให้ตาได้พักผ่อน การกระพริบตายังช่วยให้นัยน์ตาชุ่มชื้นอยู่เสมอ ปกติคนกระพริบตา 25 ครั้งต่อนาที (4) ต่อมผลิตน้ำตา (Lacrimal Gland) อยู่บริเวณด้านบนของหางตา ผลิตน้ำตาเพื่อหล่อเลี้ยงผิวตาให้ชุ่มชื้นตลอดเวลา มีขอบตาทำหน้าที่เกลี่ยน้ำตาให้กระจายทั่วถึง น้ำตาส่วนใหญ่ระเหยในอากาศ ส่วนที่เหลือระบายออกที่รูระบายน้ำตาซึ่งอยู่ที่หัวตา รูนี้เชื่อมกับท่อน้ำตาที่ต่อไปถึงในจมูก ดังนั้นเมื่อร้องไห้มาก จึงทำให้คัดจมูกได้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี



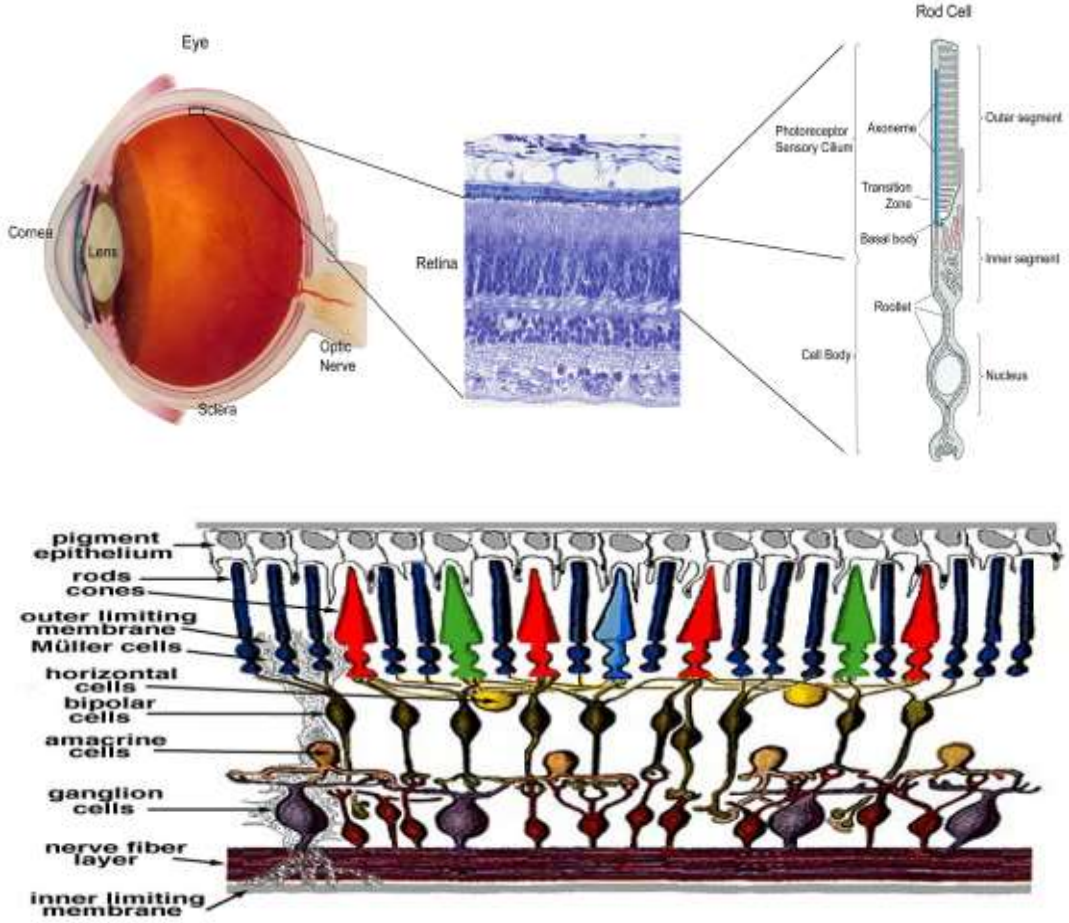
รูปที่ 2.2.1 ภาพตัดขวางของดวงตาคน

(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.nectec.or.th/, 2013)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เรตินามีหน้าที่สำคัญคือ เป็นจอรับภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทตา 2 ชนิด คือ เซลล์โคน(Cone Cells) และเซลล์ร็อด(Rods Cells) ในรูปที่ 2.2.2 ภาพตัดขวางของเรตินา แสดงเซลล์โคนและร็อด โดยที่เซลล์โคน มีประมาณ 7 ล้านเซลล์ต่อกระบอกตาแต่ละด้าน จะอยู่บริเวณกึ่งกลางเรตินา สิ่งสำคัญคือ สามารถรับรู้และแยกแยะสีของแสงได้ ดังนั้นจะช่วยแยกแยะรายละเอียดของสิ่งที่เรามองเห็นได้ดี จะทำงานได้ดีในเวลากลางวันหรือในบริเวณที่มีแสงสว่างมาก ส่วนเซลล์ร็อด มีประมาณ 130 ล้านเซลล์ต่อกระบอกตาแต่ละด้าน สิ่งสำคัญคือ จะมีความไวแสงมากกว่าเซลล์โคนมาก สามารถรับรู้แสงเพียงเล็กน้อยได้ แต่จะไม่สามารถแยกแยะสีสันได้ จะ

ทำงานได้ดีในเวลากลางคืนหรือในที่แสงสว่างมีน้อย ทั้งเซลล์ร็อดและเซลล์โคน มีความไวต่อแสงที่สีต่างๆ ไม่เท่ากัน โดยปกติแล้วเซลล์ร็อดจะไวที่สุดต่อแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 505 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่มีโทนสีเขียว ส่วนเซลล์โคนจะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่มีโทนสีเหลือง (ศุลี, 2543)(ชาญศักดิ์, 2549)



รูปที่ 2.2.2 ภาพตัดขวางของเรตินาแสดงเซลล์โคนและร็อด

(ที่มา : เว็บไซต์ www.uphs.upenn.edu/news/, 2013)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การที่คนเราสามารถมองเห็นภาพต่างๆ ได้ เพราะแสงไปกระทบกับวัตถุ แล้วสะท้อนเข้าสู่นัยน์ตาของคนเรา ผ่านกระจกตา รูม่านตา แก้วตา แล้วไปตกลงบนเรตินา ซึ่งเซลล์รับภาพที่เรตินาจะรับภาพในลักษณะหัวกลับ แล้วส่งไปตามเส้นประสาทสู่สมองส่วนท้ายทอย สมองจะทำหน้าที่แปลภาพหัวกลับเป็นหัวตั้งตามสภาพเดิม สำหรับการมองเห็นวัตถุ ถ้าตำแหน่งใกล้สุดที่เห็นภาพชัดเรียกว่า จุดใกล้ และตำแหน่งไกลสุดที่เห็นภาพชัดเรียกว่า จุดไกล แล้ว คนที่มีสายตาปกติจุดใกล้อยู่ที่ประมาณ 25 เซนติเมตร ส่วนจุดไกลอยู่ที่ระยะไกลมาก ความผิดปกติของการมองเห็นมักเกิดขึ้นมาเพราะส่วนประกอบของนัยน์ตาที่มีลักษณะผิดปกติ

การตอบสนองของตาคนปกติ ในแต่ละคนจะมีความแตกต่างกันไป มีการทดลองเพื่อศึกษาถึงค่าเฉลี่ยการตอบสนองต่อการเห็นของบุคคลทั่วไป ได้กราฟขีดเริ่มเห็น (threshold curve) และกราฟความไว (sensitivity curve) โดยค่าความไวจะเป็นส่วนกลับกับขีดเริ่มเห็น ความไวต่อการมองเห็น หรือความชัดเจนแม่นยำของการมองเห็น (visual acuity) กำหนดขึ้นมาเพื่อบ่งบอกถึงความสามารถของดวงตาในการแยกรายละเอียด จะมีองค์ประกอบ 4 ประการ คือ ขนาดของวัตถุ การส่องสว่าง ความแตกต่างของสีวัตถุกับพื้นผิว และเวลา (ศุลี, 2543)(ชาญศักดิ์, 2549) สรุปว่า

(1) ขนาดของวัตถุ (Size) ความไวต่อการมองเห็นจะขึ้นอยู่กับขนาดวัตถุ ซึ่งจะมีผลต่อขนาดภาพที่ปรากฏบนเรตินา กรณีวัตถุขนาดเดียวกัน ระยะการมองจะมีผลต่อมุมการมองเห็น จะได้สมการว่า มุมการมองเห็น (visual angle) = (h/d) x 3,438 นาที โดย h เป็นความสูงของวัตถุ และ d เป็นระยะห่างของวัตถุจากตา ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า ค่าความไวของการมองเห็น = 1/มุมการมองเห็น = 0.00029d/h (ศุลี, 2543) นั่นคือ เห็นวัตถุขนาดโตได้ดีกว่าวัตถุขนาดเล็ก

(2) ค่าความสว่าง (Luminance) ความสว่างจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงที่ตกกระทบลงบนพื้น และจะมีแสงส่วนหนึ่งสะท้อนกลับไปยังดวงตา ซึ่งเราแสดงได้ด้วยสมการความสัมพันธ์ $L = \rho \times E$ โดยที่ L = ค่าความสว่าง ρ = ค่าการสะท้อน และ E = ค่าความเข้มแสง

(3) ความแตกต่างของสีวัตถุกับพื้นผิวโดยรอบ (contrast) เป็นความแตกต่างระหว่างวัตถุกับฉากหลัง ในการแบ่งแยกความแตกต่างต่ำสุดของความส่องสว่างระหว่างพื้นที่ 2 พื้นที่ อธิบายได้ด้วยสมการคือ $C = |(L_0 - L_b)/L_b| = |\Delta L / L_b|$ โดยที่ L_0 คือ ความส่องสว่างของวัตถุที่ทดสอบ L_b คือ ความส่องสว่างของภาพพื้น และ ΔL คือส่วนที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของการทาทับหรือเขียนทับลงบนภาพพื้น นั่นคือ ถ้าความแตกต่างมีมาก การมองเห็นยิ่งทำได้ง่ายขึ้น

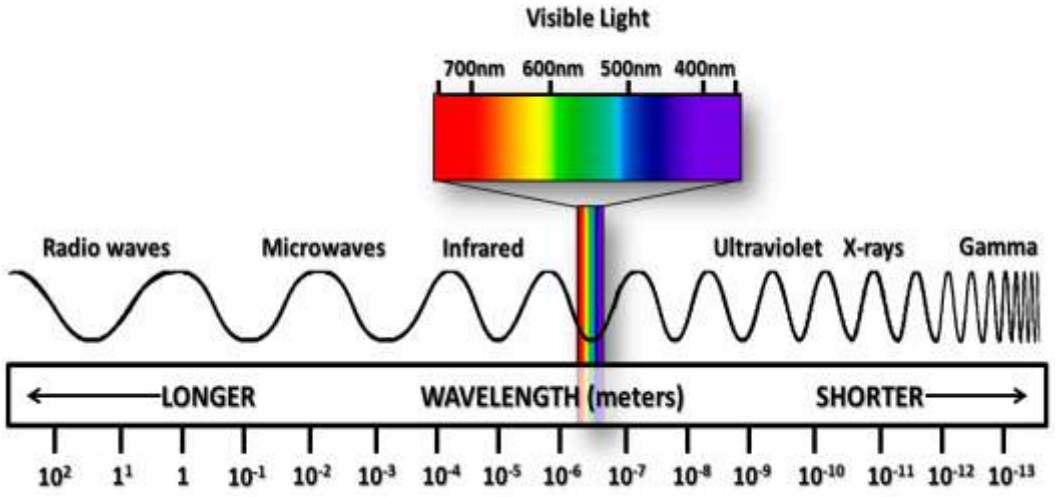
(4) เวลา (Time) ปกติตาคนไม่สามารถมองเห็นหรือรับรู้สิ่งต่างๆ ได้เท่ากัน ดวงตาต้องการเวลาในการปรับกล้ามเนื้อตาให้ขยายหรือหดตัว ถ้ามีปริมาณแสงสว่างน้อย การมองวัตถุก็ย่อมต้องใช้เวลามากกว่าบริเวณที่มีปริมาณแสงสว่างมาก และถ้าวัตถุกำลังเคลื่อนที่ก็ต้องการแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นในการออกแบบแสงสว่างจึงควรนำข้อจำกัดเหล่านี้มาพิจารณา แต่การเพิ่มปริมาณแสงสว่างนั้นเมื่อถึงค่าหนึ่งแล้วจะทำให้การมองเห็นวัตถุคงที่ เนื่องจากขีดจำกัดกล้ามเนื้อตานั่นเอง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การปรับตัวของตา หมายถึง ความสามารถของเลนส์ตาในการปรับจุดรวมแสง ทำให้มองเห็นวัตถุที่ระยะใกล้หรือไกลได้ชัดเจนขึ้น เลนส์ตาสามารถควบคุมให้แบนราบหรือโค้งนูนออกได้ เพื่อเพิ่มการหักเหของแสง และรูม่านตาสามารถปรับรูม่านตาให้กว้างหรือแคบลงได้ การปรับตัวของตาให้เข้ากับแสงสว่างที่เปลี่ยนในที่มืดและสว่าง การปรับตัวปกติ เมื่อเปลี่ยนจากที่มืดไปสว่าง หรือสว่างไปสู่ที่มืดย่อมเกิดล่าช้าในการมองเห็นชั่วขณะ เพราะตาต้องใช้เวลาปรับตัว การปรับตัวจากที่สว่างไปสู่ที่มืดย่อมจะใช้เวลานานกว่าการปรับตัวจากที่มืดไปสู่ที่สว่าง เนื่องจากเซลล์ร็อด ใช้เวลาปรับตัวเพื่อให้ได้ความไวต่อแสงสว่างสูงสุด คือ 30 วินาที ขณะที่เซลล์โคนใช้เวลา 2-3 วินาที เท่านั้น

แสงและสีของแสง

ช่วงก่อนศตวรรษที่ 17 ในการศึกษาเรื่องแสง เชื่อกันว่า แสงเป็นอนุภาคที่ถูกส่งออกมาจากต้นกำเนิดแสง แสงสามารถผ่านทะลุวัตถุโปร่งใสและสะท้อนจากผิวของวัตถุทึบแสงได้ นิวตัน (Newton) ได้เสนอทฤษฎีอนุภาคของแสง (particle theory) สามารถนำไปใช้อธิบาย ปรากฏการณ์สะท้อนและการหักเหของแสงได้ ฮอยเกนส์ (Christain Huygen) ได้เสนอทฤษฎีคลื่นแสง (Waves Theory) ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเดินทางในลักษณะของคลื่น ซึ่งกฎการสะท้อนและการหักเห สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีคลื่นแสงนี้ ทอมัส ยัง (Thomas Young) ค้นพบปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสง เฟรสเนล (Augustin Fresnel) ทำการทดลอง เกี่ยวกับการแทรกสอดและการเลี้ยวเบนของแสง ในปัจจุบันนี้ ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Theory) ใช้อธิบายถึงพลังงานการแผ่รังสีหรือสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี อธิบายแสงสว่างได้ว่า ลักษณะเป็นสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่ง เรียกว่า สเปกตรัมที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum) แสงสว่างที่คนเรามองเห็น (Visible Light) นั้น จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง 380 ถึง 760 นาโนเมตร โดยจะเป็นแสงสีม่วง สีคราม สีน้ำเงิน สีเขียว สีเหลือง สีส้ม และสีแดง เรียงตามความยาวคลื่น ตั้งแต่ 380 ถึง 760 นาโนเมตร ดังในรูปที่ 2.2.3 แสดงสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า และในตาราง 2.2.1 แสงสีและความยาวคลื่น สำหรับแถบสีแต่ละแถบในช่วงสเปกตรัมที่มองเห็น ซึ่งจะให้แสงสีต่างกันและไม่สามารถแยกให้เห็นส่วนประกอบของแต่ละแถบสีได้ เรียกแถบสีนี้ว่า แสงเอกพันธ์ (Homogeneous Light) แต่เมื่อนำเอาแสงเหล่านี้มารวมกัน แล้วทำให้เกิดแสงสีใหม่ จะเรียกแสงสีที่เกิดขึ้นใหม่นี้ว่า แสงวิวิธพันธ์ (Non-Homogeneous Light)



รูปที่ 2.2.3 สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า

(ที่มา : เว็บไซต์ www.ces.fau.edu/nasa/module-2 , 2015)

ตารางที่ 2.2.1 แสงสีที่มองเห็นและความยาวคลื่น

แสงสี	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)
แดง	780 - 630
ส้ม	630 - 590
เหลือง	590 - 560
เขียว	560 - 490
น้ำเงิน	490 - 440
คราม	440 - 420
ม่วง	420 - 380

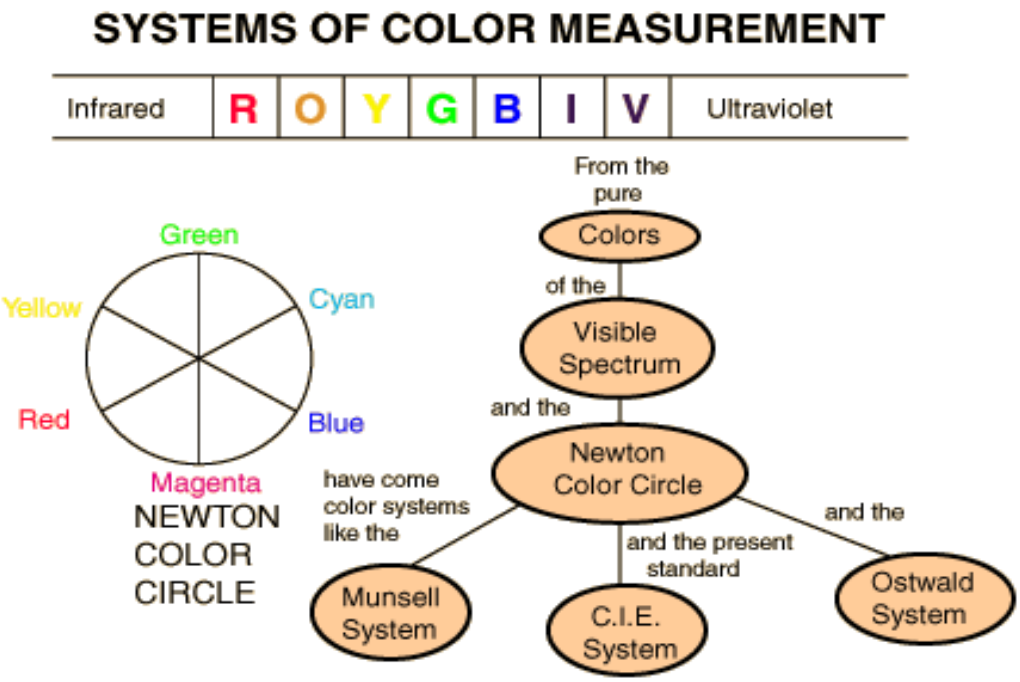
เมื่อเรามาดูความยาวคลื่น ตั้งแต่คลื่นยาวมาก คือ คลื่นวิทยุ กระทั่งถึงคลื่นที่สั้นมาก คือ รังสีอุลตราไวโอเลต รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา จะเห็นได้ว่าคลื่นยิ่งสั้นลงยิ่งมีพลังงานมากขึ้น แสงเป็นพลังงานเดินทางแบบคลื่น (คลื่นตามขวาง) มีอัตราเร็วประมาณ $3x10^8$ เมตรต่อวินาที แสงจึงมีคุณสมบัติของคลื่นครบ 4 ประการ คือ (1) การสะท้อน (2) การหักเห (3) การเลี้ยวเบน และ (4) การแทรกสอด ตัวอย่างเช่น (1) การสะท้อนของแสง จะเป็นไปตามกฎการสะท้อนของคลื่น คือ (1.1) รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปรกติอยู่บนระนาบเดียวกัน (1.2) มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน (2) การหักเหของแสง เมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางที่ 1 จะทะลุเข้าไปในตัวกลางที่ 2 แล้วทำให้ขนาดของความเร็วเปลี่ยน หรือทิศของแสงเปลี่ยน ถือได้ว่าเกิดการหักเหทั้งสิ้น (3) การเลี้ยวเบนของแสง เป็นต้น

เมื่อแสงสว่างวิ่งผ่านตัวกลางจะมีปรากฏการณ์ ดังนี้ (1) เกิดการหักเหของแสงสว่าง ในกรณีแสงสว่างผ่านตัวกลาง ลำแสงสว่างจะหักเหออกจากแนวเดิม จะเกิดขึ้นเมื่อแสงสว่างวิ่งผ่านวัตถุโปร่งแสง เช่น แก้ว เป็นต้น (2) เกิดการกระจายแสงสว่าง เมื่อแสงสว่างตกกระทบตัวกลางที่ผิวขัดมัน ก็จะเกิดการสะท้อนแสงสว่างหรือกระจายแสงสว่างออกมาในทิศทางต่างๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะผิวของตัวกลางที่ตกกระทบ (3) เกิดการสะท้อนแสงสว่าง เมื่อแสงสว่างตกกระทบตัวกลางที่ผิวเรียบขัดมัน จะเกิดสะท้อนแสงสว่าง ตามหลักการมุมตกกระทบเท่ากันกับมุมสะท้อน (4) เกิดการดูดกลืนแสงสว่าง เมื่อแสงสว่างตกกระทบตัวกลางที่เป็นผิวเรียบธรรมดา จะมีแสงสว่างบางส่วนหรือทั้งหมดหายเข้าไปในผิวเรียบนั้น โดยไม่สะท้อนออกหรือออกมาน้อย จะเห็นได้ว่าเมื่อพลังงานแสงสว่างถูกดูดกลืนเข้าไปในพื้นหรือวัตถุแล้ว จะเปลี่ยนสถานะจากแสงสว่างเป็นพลังงานความร้อน (5) เกิดการทะลุผ่านตัวกลาง เมื่อแสงสว่างตกกระทบบนพื้นหรือวัสดุ และทะลุผ่านไปอีกด้านหนึ่งของตัวกลาง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ทางเดินของแสงสามารถกระทำได้บนวัตถุใดๆ สีที่เห็นได้ด้วยดวงตา จะเกิดจากความแตกต่างของความยาวคลื่นของพลังงานการแผ่รังสีที่ตกกระทบบนเรตินาในดวงตา ทำให้คนรู้สึกหรือมองเห็นเป็นสีออกมา คุณสมบัติของสเปกตรัมที่กระจายในวัตถุจะเป็นตัวสร้างสีเฉพาะขึ้น ทำให้ตารู้สึกว่าเห็นสีขึ้นบนวัตถุนั้น ถ้าหากว่าแหล่งกำเนิดแสงหรือวัตถุมีการเปลี่ยนแปลง สีที่ตาเห็นก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย เพราะสีที่มองเห็นจะขึ้นอยู่กับแสงที่ตกหรือฉายลงบนวัตถุนั้น ตลอดจนการสะท้อนของวัตถุเองและการตอบสนองของดวงตาด้วย สีที่เกิดขึ้นนี้เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า การเลือกดูดกลืน เป็นผลของวัตถุที่แสงมาตกกระทบ บางส่วนมีการดูดกลืนเข้าในวัตถุ บางส่วนมีการสะท้อนกลับออกไป หรือบางส่วนกระจายไป ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่เป็นวัตถุนั่นเอง อีกทั้งนอกจากนี้ สียังให้ความรู้สึก เช่น (1) รู้สึกอบอุ่น เบิกบาน ได้แก่ สีแดง สีส้ม สีเหลือง (2) รู้สึกเย็น พักผ่อน ได้แก่ สีน้ำเงิน-เขียว สีม่วง (3) รู้สึกสงบ ได้แก่ สีเหลือง-เขียว สีเขียว (ศุลี, 2543)

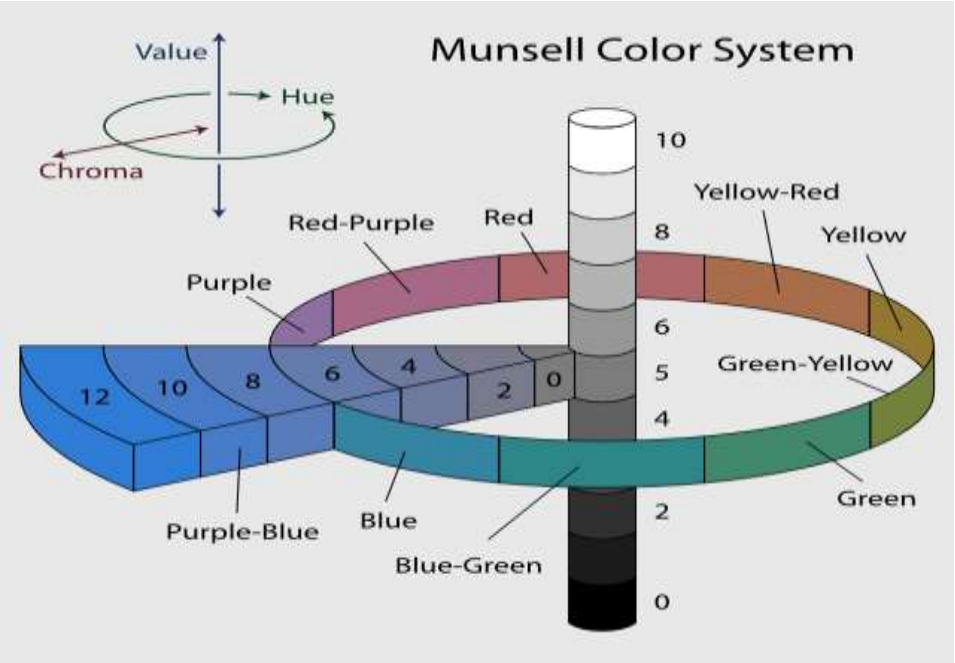
ในการกำหนดสี มีอยู่ 3 ระบบใหญ่ที่นิยมใช้ คือ ระบบมันเซลล์ (Munsell system) ระบบอ็อตวอลด์ (Ostwald system) และ ระบบซีไออี (CIE system) ดังในรูปที่ 2.2.4 โดยที่ระบบมันเซลล์และระบบอ็อตวอลด์ มักใช้ในระบบสีที่ใช้ทา ส่วนระบบซีไออี มักจะใช้ในงานวิจัยสี โรงงาน กระบวนการ และการตลาด โดยที่ระบบซีไออี จะมีข้อดีคือ รวมผลของสีวัตถุ สีของแหล่งกำเนิดแสง และระบบการมองเห็น ทำให้ได้สีภายใต้เงื่อนไขได้ (ศุลี, 2543)



รูปที่ 2.2.4 ระบบการวัดค่าสีของแสง

(ที่มา : เว็บไซต์ http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/HBASE/vision/ , 2017)

(1) ระบบสีมันเซลล์ (Munsell Color System) ได้เริ่มพัฒนาขึ้นมาในปี ค.ศ. 1898 โดย ศาสตราจารย์ อัลเบิตร์ มันเซลล์(Professor Albert H. Munsell) (Wikipedia-Munsell color system, 2013) ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์ขณะนั้น เพื่อการพัฒนาระบบการสอนเกี่ยวกับสีในห้องเรียน เริ่มต้นจากการเตรียมสีลงบนวงกลม ทรงกลม และพัฒนาต่อไป (ศุลี, 2543) ในช่วงต่อมาได้รับการยอมรับโดย USDA ให้เป็นระบบสีที่เป็นทางการ ในปี ค.ศ. 1930 แสดงรูปแบบระบบสีของมันเซลล์ได้ดังรูปที่ 2.2.5.



รูปที่ 2.2.5 ระบบสีของมันเซลล์

(ที่มา : เว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system , 2017)

ระบบสีของมันเซลล์ เป็นระบบที่ประกอบด้วย 3 มิติอิสระ กำหนดสีตามลักษณะมิติของ (1) ความเป็นสี (hue) วัดค่าด้วยระดับรอบแกนนอนของวงกลม (2) ความจัดของสี (chroma) วัดค่าตามแนวรัศมีออกไปจากแกนแนวตรง และ (3) น้ำหนักของสี (value) วัดค่าตามแนวตรงจาก 0 (ดำ) ถึง 10 (ขาว) โดยที่ ความเป็นสี จะแบ่งเป็นความเป็นสีหลัก (principal hue) 10 สี คือ แดง(R) เหลืองแดง(YR) เหลือง(Y) เขียวเหลือง(GY) เขียว(G) น้ำเงินเขียว(BG) น้ำเงิน(B) ม่วงน้ำเงิน(PB) ม่วง(P) แดงม่วง(RP) ดังแสดงในรูป ซึ่งความเป็นสีทั้งสิบนี้ แต่ละสีจะแบ่งแยกย่อยเป็น 10 ส่วน นั่นคือ ความเป็นสี แบ่งออกเป็น 100 ส่วนเท่ากัน โดยรอบวงกลมสี ส่วนน้ำหนักของสี คือ ค่าความสว่าง(Brightness)ของสี โดยแบ่งน้ำหนักของสีจาก 0 (ดำ) ไปจนถึง 10 (ขาว) ส่วนความจัดของสี คือ ความสดหรือบริสุทธิ์ของสี ถ้าหากสีนั้นถูกสีขาว เทา หรือดำ ผสมเข้าไปแล้วทำให้สีนั้นมีความจัดน้อยลง (Wikipedia-Munsell color system, 2017)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

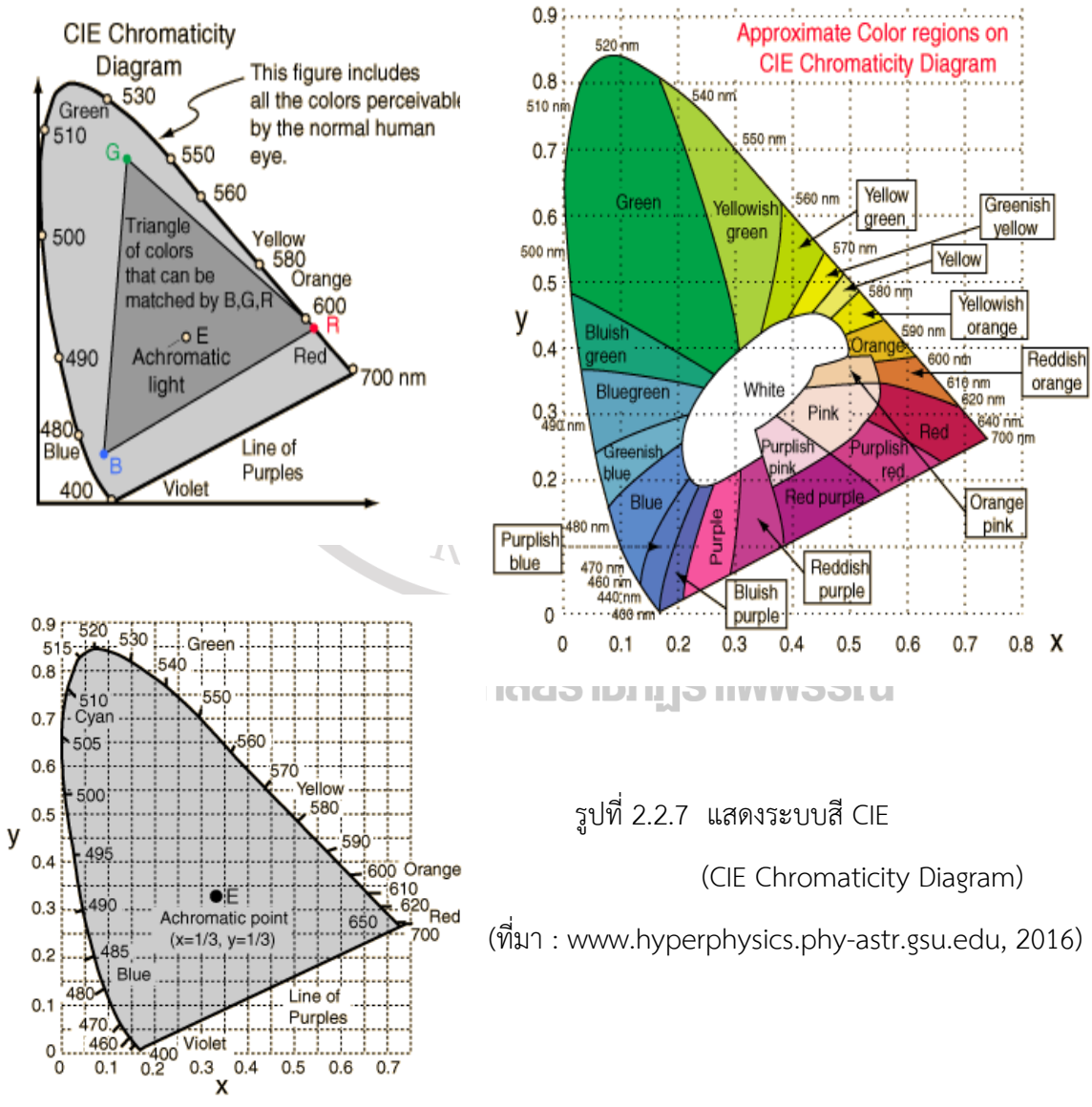
(2) ระบบสีอ็อตวอลด์ (Ostwald Color System) ได้คิดพัฒนาระบบสีขึ้นมาโดย อ็อตวอลด์ (Wilhelm Ostwald) นักวิทยาศาสตร์ ชาวลัตเวีย-เยอรมัน ในช่วงปี ค.ศ.1914 ระบบสีอ็อตวอลด์ แสดงลักษณะของสีด้วย ความยาวคลื่นหลักของสี (dominant wavelength) ความบริสุทธิ์ของสี (purity) และความสว่างของสี (luminance) การแสดงให้เห็นถึงค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ ทำโดยใช้ disc colorimeter ซึ่งผสมสีที่ความยาวคลื่นหลักเข้ากับสีดำและสีขาว ในการวัดค่าของสีเต็ม สีขาวและสีดำ โดยแทนค่าด้วยสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของวงกลม โดยการกำหนดตัวเลขสำหรับ C , W และ B ในการวัดค่าแต่ละสี ตัวอย่างเช่น 35,15,50 ใช้แสดงถึงค่า 35 % สีเต็ม 15 % สีขาว และ 50 % สีดำ

รูปที่ 2.2.6 วงล้อสีสำหรับระบบสีอ็อตวอลด์

(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.dsgnwrld.com/color-helm-by-wilhelm-ostwald-2351 , 2016)

ถ้าเปรียบเทียบระบบสีมันเซลล์กับระบบสีอ็อตวอลด์ จะเห็นว่าทั้งสองระบบมีตัวแปรในการระบุสีซึ่งเกี่ยวข้องกันกับ ความเป็นสี (hue) การทำให้อิ่มตัว (saturation) และความสว่าง (brightness) นั่นเอง (HyperPhysics, 2016) โดยที่ ความเป็นสีเทียบกันได้ระหว่าง ความเป็นสี (hue) ของมันเซลล์ กับความยาวคลื่นหลักของสี (dominant wavelength) ของอ็อตวอลด์ การทำให้อิ่มตัวเทียบกันได้ระหว่าง ความจัดของสี (chroma) ของมันเซลล์ กับความบริสุทธิ์ของสี (purity) ของอ็อตวอลด์ ความสว่างเทียบกันได้ระหว่าง น้ำหนักของสี (value) ของมันเซลล์ กับ ความสว่างสี (luminance) ของอ็อตวอลด์ ปัญหาอีกประการของระบบสี คือ ทั้งมันเซลล์และอ็อตวอลด์ จัดสีเปรียบเทียบเข้ากับชุดตัวอย่างมาตรฐาน แต่ชุดตัวอย่างมาตรฐานสามารถเลื่อนและลดค่าลงได้

(3) ระบบสีซีไออี (CIE Color System) เป็นมาตรฐานนานาชาติสำหรับสีของแสง (International Commission on Illumination) มาจากใช้แนวคิดว่าสีใดๆ เกิดจากการผสมแม่สีสเปกตรัม 3 สี เข้าด้วยกัน คือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ใช้สัญลักษณ์ X Y Z แทนสเปกตรัมสีทั้งสามตามลำดับ แล้วแปลงค่า X Y Z ให้อยู่ในรูปของ (x,y) หรือใช้วิธีกำหนดสีของแสงในรูปโคออร์ดิเนต (x,y) ในไดอะแกรมสีนั่นเอง ซึ่งค่าโคออร์ดิเนตของสีเหล่านี้ คำนวณได้จากค่ากระจายสเปกตรัมในการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยจุดต่างๆ ที่อยู่ภายในพื้นที่ที่ล้อมรอบโดยเส้นโลกัสจะแทนสีต่างๆ และมีเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างสีแดง สีคราม และสีม่วงเพื่อปิดไดอะแกรม แสดงระบบสีของซีไออีในรูปที่ 2.2.7 ตัวอย่าง คือ จุดโคออร์ดิเนต x=1/3 และ y=1/3 เป็นจุด EEW คือ จุดที่มีค่าสเปกตรัมของพลังงานเท่ากัน (HyperPhysics, 2016) เพื่อให้การวัดสีมีความแม่นยำระบบซีไออีจึงได้กำหนดมาตรฐานการวัด เพื่อขจัดตัวแปรที่มีผลผิดพลาดในการวัด ได้แก่ มาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสง สภาวะของการวัด หน่วยการวัดที่เหมาะสม กำหนดผู้สังเกตมาตรฐาน



รูปที่ 2.2.7 แสดงระบบสี CIE

(CIE Chromaticity Diagram)

(ที่มา : www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu, 2016)

ระบบซีไออีกำหนดแม่สี 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ใช้สัญลักษณ์ X Y Z แทนปริมาณสีทั้งสามเรียงตามลำดับ คำนวณค่าตำแหน่งของสีด้วยสมการความสัมพันธ์

$x = X / (X+Y+Z)$, $y = Y / (X+Y+Z)$, $z = Z / (X+Y+Z)$

และ $x + y + z = 1$

เมื่อนำค่า x และ y ในแต่ละความยาวคลื่น มาเขียนกราฟ จะได้กราฟดังรูปที่ 2.2.7 เรียกว่า Chromaticity Diagram โดยที่ในไดอะแกรมนี้ บ่งบอกไปถึง (1) ตำแหน่งของสเปกตรัมเริ่มจากที่ 400 นาโนเมตร เป็นสีม่วง ที่มุมล่างซ้าย วนขึ้นบนแล้วกดด้านขวาไปถึง 700 นาโนเมตร เป็นสีแดง (2) เส้นเชื่อมที่ลากระหว่างสีแดงและสีม่วง (3) จุดที่มีค่าสเปกตรัมของพลังงานเท่ากันหรือ จุดที่ไม่มีสี (Achromatic point) เป็นจุด E (HyperPhysics, 2016) ดังแสดงในรูปที่ 2.2.7 ส่วนแหล่งกำเนิดแสงมาตรฐานของระบบซีไออี แสดงในตาราง 2.2.2

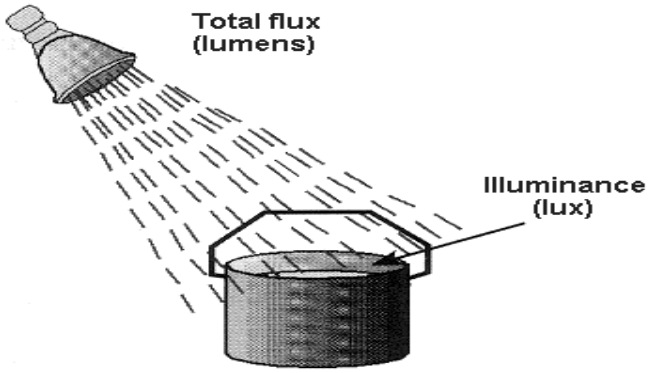
ตาราง 2.2.2 มาตรฐานแหล่งกำเนิดแสงตามระบบซีไออี

แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน	รายละเอียด	จุดโคออร์ดิเนตของไดอะแกรม			
		x	y	X_{10}	Y_{10}
A	หลอดทังสเตน	0.4476	0.4074	0.4512	0.4059
B	แสงแดดเที่ยงวันเฉลี่ย	0.3484	0.3516	0.3498	0.3527
C	กลางวันเฉลี่ย	0.3101	0.3163	0.3104	0.3191

การตอบสนองสี (Color Rendering) ระบบสีซีไออีได้แนะนำวิธีวัดและกำหนดคุณสมบัติการตอบสนองสีของแหล่งกำเนิดแสง โดยพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในสีของวัตถุที่มองเห็นเมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่ทดสอบถูกแทนโดยแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหมายถึงขนาดการเลื่อนโคออร์ดิเนตจุดสีในไดอะแกรมสี เรียกว่า ดัชนีการตอบสนองสีเฉพาะ (special color rendering index)(R_i) ค่าสูงสุดคือ 100 จะเกิดขึ้นเมื่อการกระจายสเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงทดสอบ เหมือนกับแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง สีของวัตถุที่ใช้มีทั้งหมด 8 สี ในแต่ละสีจะมีค่าดัชนีของตัวเอง (R1 ถึง R8) ค่าเฉลี่ยดัชนีการตอบสนองสีเฉพาะของสีทั้ง 8 สีนี้ เรียกว่า ดัชนีการตอบสนองสีทั่วไป (general color rendering index) (R_a) ถ้าดัชนีนี้มีค่าน้อยกว่า 100 มากเท่าใด จะแสดงถึงคุณสมบัติตอบสนองสีของหลอดไฟที่ทดสอบ จะบิดเบือนไปจากแหล่งกำเนิดแสงอ้างอิงมากขึ้นเท่านั้น (ศุลี, 2543) และอีกประการคือ แหล่งกำเนิดแสงอ้างอิง ควรมีอุณหภูมิสีเท่ากับหรือใกล้เคียงกับสีที่ใช้ทดสอบ หลอดไส้มีดัชนีการตอบสนองสีสูง แต่มีประสิทธิภาพต่ำ ส่วนหลอดฟลูออเรสเซนต์มีประสิทธิภาพและดัชนีการตอบสนองสีค่อนข้างดี หลอดความดันไอปรอทสูงและความดันไอโซเดียมต่ำนั้น มีประสิทธิภาพสูงแต่ดัชนีการตอบสนองสีไม่ดี

ปริมาณแสงสว่าง

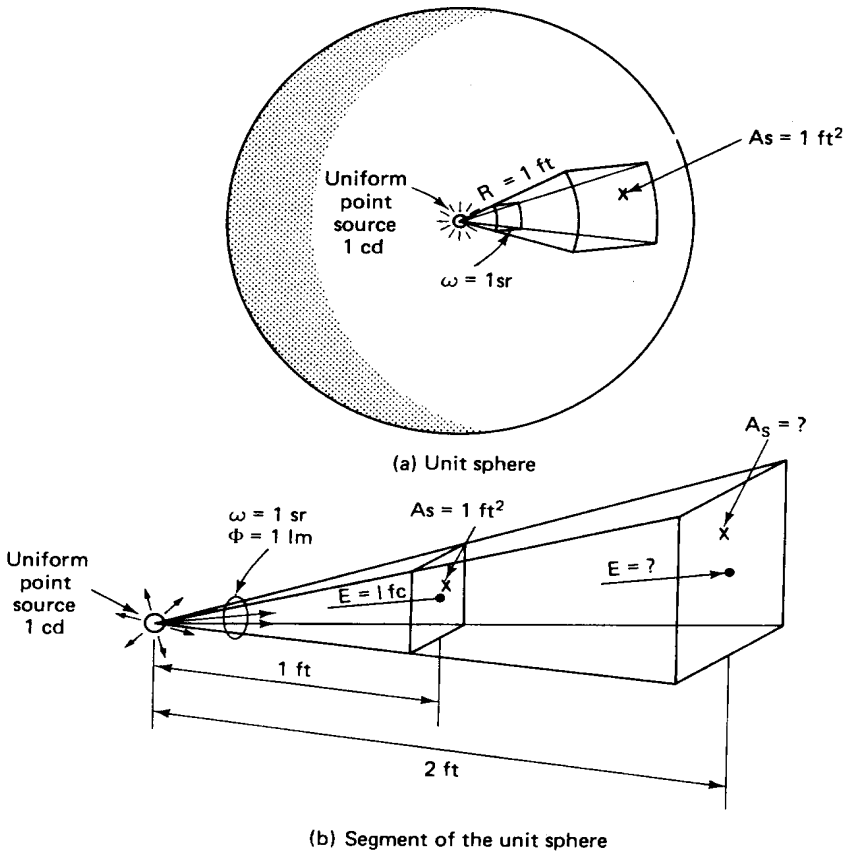
แสงสว่างเป็นพลังงานอย่างหนึ่ง จึงวัดค่าปริมาณได้เช่นกัน ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (Luminous Intensity) หรือกำลังส่องสว่าง วัดค่าได้ตามความมากน้อยของกำลังงานที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง มีหน่วยเป็น แคนเดลา โดยที่ หนึ่งแคนเดลา มีขนาดเท่ากับ 1/60 ของความเข้มการส่องสว่างต่อตารางเซนติเมตร บนพื้นผิววัตถุดำที่อุณหภูมิเท่ากับจุดเยือกแข็งของทองคำขาวภายใต้ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท การบอกค่าความมากน้อยของกำลังงานที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่าง อีกวิธีที่นิยม คือ อยู่ในรูปของปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงสว่างนั้น หน่วยเป็นลูเมน (lumen) ดังในรูปที่ 2.2.8



รูปที่ 2.2.8 ปริมาณเส้นแรงของแสงสว่าง (หน่วยเป็นลูเมน)
(ที่มา : เว็บไซต์ www.nrc-cnrc.gc.ca , 2015)

ถ้าแหล่งกำเนิดแสงสว่าง 1 แคนเดลา มีความเข้มส่องสว่างเปล่งออกมารอบทุกทิศทางอย่างสม่ำเสมอ วางที่จุดศูนย์กลางทรงกลมซึ่งมีรัศมี 1 ฟุต และ 1 เมตร แล้วปริมาณเส้นแรงของแสงสว่างที่ตกบนพื้นที่ผิวทรงกลม 1 ตารางฟุต และ 1 ตารางเมตร เรียงลำดับ มีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนทั้งสองกรณี ถ้าพิจารณาพื้นที่ทรงกลม จะมีค่า 12.57 ตารางฟุตและ 12.57 ตารางเมตร ตามลำดับ ฉะนั้นค่าความเข้มการส่องสว่าง 1 แคนเดลา ให้ปริมาณเส้นแรงออกมาเท่ากับ 12.57 ลูเมน กรณีทรงกลมรัศมี 1 ฟุต เส้นแรง 1 ลูเมน ตกบนพื้นผิวทรงกลม 1 ตารางฟุต ปริมาณส่องสว่างเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางฟุต หรือ 1 ฟุตแคนเดิล ดังในรูปที่ 2.2.9 และกรณีทรงกลมรัศมี 1 เมตร เส้นแรงแสงสว่าง 1 ลูเมน ตกบนพื้นผิวทรงกลม 1 ตารางเมตร ปริมาณส่องสว่างเท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร หรือ 1 ลักซ์ ปริมาณส่องสว่าง (E) หน่วยเป็นลักซ์หรือฟุตแคนเดิล แปรผันตรงกับความเข้มการส่องสว่าง (I) หน่วยเป็นแคนเดลา และแปรผกผันกับระยะจากแหล่งกำเนิดแสงยกกำลังสอง (d^2) หน่วยเป็นเมตรหรือฟุต เรียกความสัมพันธ์นี้ว่า กฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law) นั้นคือ $E = I / d^2$ จากรูปที่ 2.2.9 ในระยะ 1 ฟุต ได้ปริมาณส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล และระยะห่าง 2 ฟุต ได้ปริมาณส่องสว่าง ¼ ฟุตแคนเดิล ในพื้นที่ 4 ตารางฟุต

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



รูปที่ 2.2.9 ปริมาณการส่องสว่าง(หน่วยฟุตแคนเดิล)
(ที่มา : เว็บไซต์ www.personal.cityu.edu.hk , 2016)

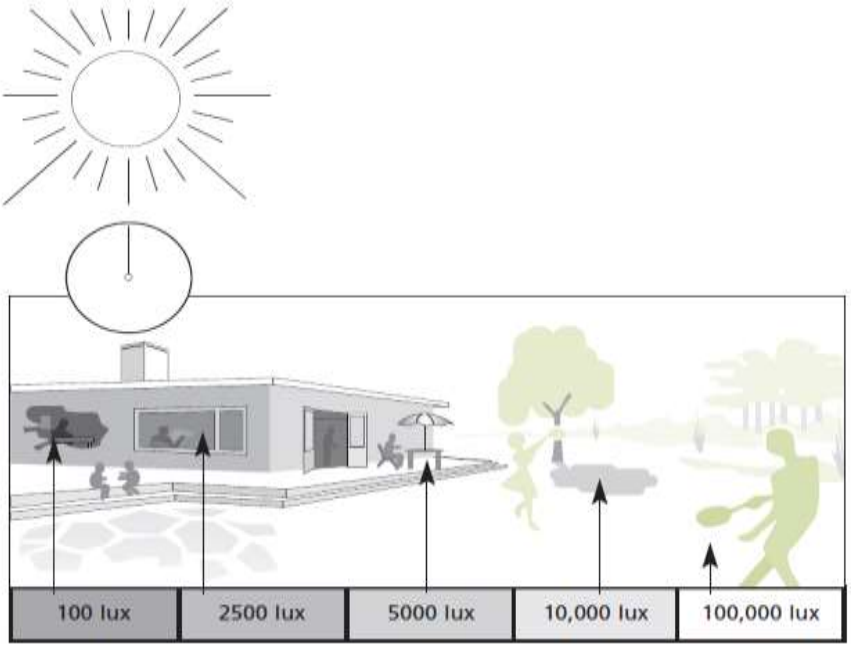
มุมตัน (Solid angle) คือ มุมยอดที่ถูกรองรับด้วยพื้นผิวใดๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ W มีหน่วยเป็น สเตอเรเดียน ใช้อักษรย่อ Sr และหาได้จากสูตร $W = A/r^2$ เมื่อ A = พื้นที่ที่รองรับมุม r = รัศมี หรือระยะทางจากจุดยอดมุมถึงพื้นที่รองรับมุม จากรูปทรงกลมรัศมี 1 ฟุต ถ้าเราเจาะพื้นที่ทรงกลม โดยให้ผิวทรงกลมมีพื้นที่ 1 ตารางฟุต จะได้ มุมตัน 1 Sr พอดี ถ้าพิจารณาพื้นที่ผิวทรงกลมทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $4\pi r^2$ ก็กล่าวได้ว่ามุมตันรอบทรงกลม มีค่าเท่ากับ $4\pi r^2/r^2$ หรือ 4π สเตอเรเดียน และจากรูปที่ 2.2.9 หากระยะรัศมีเป็น 1 เมตร และพื้นที่ 1 ตารางเมตร ปริมาณความสว่างจะเป็น 1 ลักซ์ จะเห็นว่าหน่วย ลักซ์ ได้จากฐานค่าของหน่วย ลูเมน และหน่วยลูเมน ได้มาจากฐานค่าของหน่วย แคนเดลา นั่นคือ 1 ลักซ์ เท่ากับ 1 ลูเมนต่อตารางเมตร และ 4π หรือ 12.57 ลูเมน เป็นปริมาณเส้นแรงรวมของแหล่งกำเนิดแสง 1 แคนเดลา หรือ 1 แรงเทียน ปริมาณส่องสว่าง 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.764 ลักซ์ แต่ในทางปฏิบัติใช้ค่า 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10 ลักซ์ ก็เป็นที่ยอมรับได้ แสดงค่าตัวอย่างสำหรับปริมาณส่องสว่างค่าต่างๆ ดังในตารางที่ 2.2.3 และในรูปที่ 2.2.10

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 2.2.3 แสดงค่าตัวอย่างสำหรับปริมาณส่องสว่างค่าต่างๆ

ปริมาณส่องสว่าง(ลักซ์)	ค่าตัวอย่างจาก
0.0001	แสงดาวทั้งหมด ในท้องฟ้าที่ปกคลุมด้วยเมฆมากและไม่มีแสงจันทร์
0.002	ท้องฟ้าใสยามค่ำคืนที่ไม่มีแสงจันทร์
0.27 – 1.0	คืนพระจันทร์เต็มดวง และท้องฟ้าใส
3.4	แสงจากดวงอาทิตย์ขณะที่จะลับจากขอบฟ้าภายใต้ท้องฟ้าใส
50	แสงในห้องนั่งเล่นของครอบครัว
80	แสงในห้องโถงของอาคารสำนักงาน หรือแสงในห้องน้ำ
100	แสงในบางวันที่มีเมฆมาก ซึ่งมืดมากเป็นพิเศษ
320-500	แสงสว่างตามสำนักงานต่างๆ
400	แสงในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรืออาทิตย์ตกในวันท้องฟ้าสดใส
1,000	แสงสว่างในวันที่มีเมฆมาก หรือ แสงสว่างในสตูดิโอโทรทัศน์
10,000-25,000	แสงในช่วงเวลากลางวัน แต่ไม่ใช่ใต้แสงแดดโดยตรง
32,000-100,000	แสงสว่างภายใต้แสงแดดโดยตรง

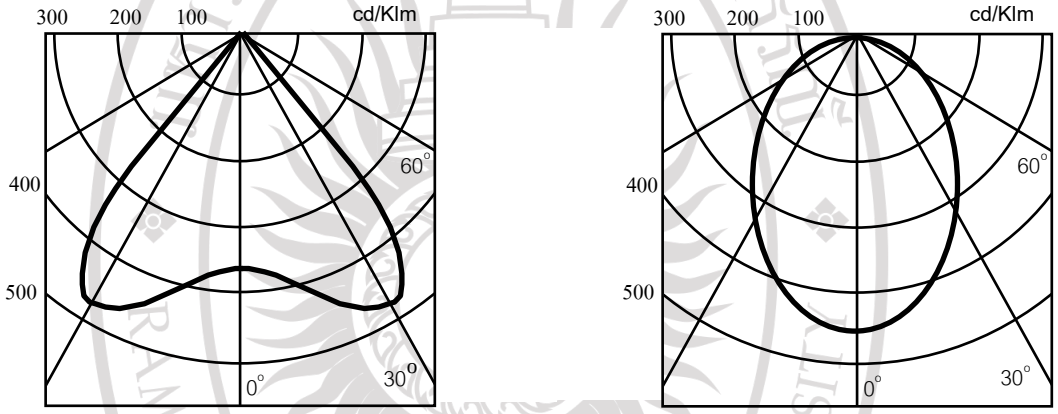
(ที่มา : ผู้วิจัยถอดความจากเว็บไซต์ http://en.wikipedia.org/wiki/lux , 2016)



รูปที่ 2.2.10 ค่าตัวอย่างปริมาณส่องสว่างภายใต้แสงอาทิตย์ในช่วงกลางวัน

(ที่มา : The SLL Lighting Handbook, 2009 : p. 4)

ในการพิจารณาคุณสมบัติทางด้านแสงของโคม จะพิจารณากราฟการกระจายแสงของโคมเป็นอันดับแรก เพื่อให้ทราบว่าโคมให้ปริมาณแสงออกมาในทิศทางต่างๆ เป็นอย่างไรแล้ว อันดับต่อไปก็ต้องพิจารณาว่าโคมที่ให้แสงออกมานั้นมีคุณภาพเป็นอย่างไร มีแสงจ้ามากน้อยเพียงใด และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ กราฟกระจายแสงของโคมเป็นส่วนสำคัญในการเลือกโคม เพราะทำให้เราทราบถึงลักษณะการกระจายแสงของโคมนั้น กราฟกระจายแสงของโคมมีหลายแบบ กราฟที่ใช้มาก ได้แก่ กราฟแสดงความเข้มของแสง หน่วยแคนเดลาต่อกิโลลูเมน (cd/Klm) ที่มุมแสงต่าง ๆ ของโคม ดังในรูปที่ 2.2.11 ซึ่งเป็นโคมที่ให้แสงสว่างทั่วไป แต่ถ้าเป็นโคมที่ส่องพุ่งแรง ในประเภทสปอตไลท์ มักบอกหน่วยของกราฟเป็นแคนเดลา แทนที่จะเป็น แคนเดลาต่อกิโลลูเมน



(ก) (ข)

รูปที่ 2.2.11 กราฟกระจายแสงของโคม

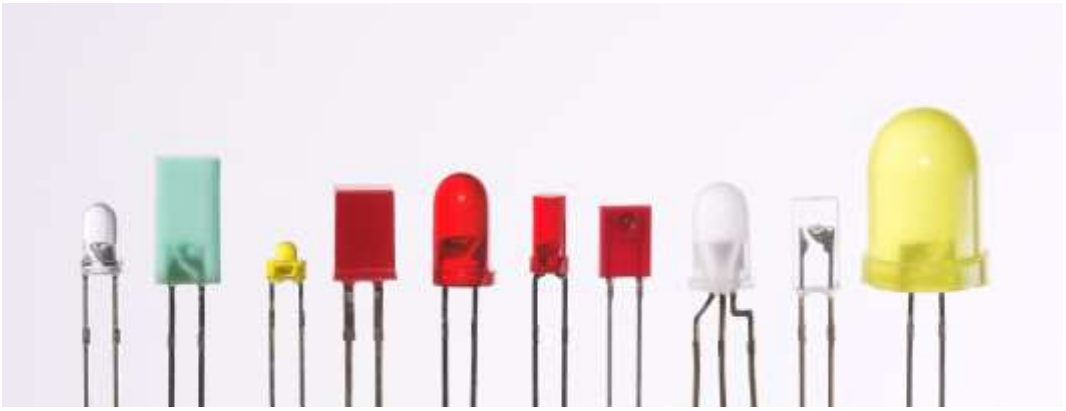
กราฟกระจายแสงรูปที่ 2.2.11 (ก) ลักษณะเหมือนปีกผีเสื้อ ค่าความสว่างที่ไกลออกไปมีความสว่างมากกว่าหรือเท่ากับที่ใต้โคม จึงเหมาะใช้กับบริเวณที่เพดานไม่สูงมาก ส่วนกราฟในรูปที่ 2.2.11 (ข) ความสว่างที่ห่างศูนย์กลางใต้โคมมีความสว่างน้อยลง กราฟแคบจึงเหมาะสมกับติดตั้งที่เพดานสูง การบอกคุณสมบัติของโคม นอกจากกราฟกระจายแสงแล้ว อาจบอกได้ด้วยสองค่าคือ ความเข้มแสงที่มุมศูนย์องศา และมุมลำแสง เช่น โคมสปอตไลท์ มีความเข้มแสง 10,000 แคนเดลา มุมแสง 10 องศา เป็นต้น ค่ามุมลำแสงนี้ ด้านสหรัฐ นิยามว่า มุมของลำแสงจะมีค่าความเข้มแสง 10 % ของเข้มแสงสูงสุด ส่วนยุโรปหรือญี่ปุ่นนิยามว่า เป็นมุมของลำแสงที่มีความเข้มแสง 50 % ของความเข้มแสงสูงสุด เรียกว่า มุมลำแสงหรือมุมครึ่งความเข้มแสง นอกจากกราฟกระจายแสงแล้วก็ต้องพิจารณาว่าโคมที่ให้แสงออกมานั้นมีคุณภาพเป็นอย่างไร มีแสงจ้าเพียงใดและอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ แสงจ้า หมายถึง แสงที่เข้าตาแล้วทำให้มองเห็นวัตถุได้ยากหรือมองไม่เห็นเลย การจัดโคมให้ส่องสว่างโดยทั่วไปต้องการแสงจ้าน้อยที่สุด

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การพัฒนาและประยุกต์ใช้แอลอีดี

ชนิดและขนาดของแอลอีดี

หลอดแอลอีดีได้พัฒนาและผลิตขึ้นมาใช้อย่างหลากหลายทั้งขนาดและรูปทรง ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3.1 แอลอีดีขนาด 5 มิลลิเมตร รูปทรงกระบอก (แอลอีดีสีแดง ลำดับห้าจากซ้าย) เป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุด ประมาณ 80 % ของทั้งหมด โดยปกติสีของเลนส์พลาสติกมักจะเหมือนกับสีของแสงจากแอลอีดี แต่ก็ไม่เสมอไป ตัวอย่างเช่น พลาสติกสีม่วงมักใช้กับแอลอีดีอินฟาเรด และแอลอีดีสีน้ำเงินส่วนมากมีโครงสร้างใส เป็นต้น หลอดแอลอีดีอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก คือ (1) แอลอีดีขนาดเล็ก (Miniature LED) (2) แอลอีดีกำลังสูง (High power LED) และ (3) แอลอีดีที่ออกแบบตามความต้องการของลูกค้า (Custom-designs LED)



รูปที่ 2.3.1 แอลอีดีผลิตขึ้นในหลายรูปทรงและหลายขนาด
(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

(1) แอลอีดีขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ใช้เป็นตัวแสดงผล (Indicators) ว่า เปิด-ปิด พร้อมใช้งาน ผิดพลาด เป็นต้น มีหลายขนาดให้เลือกใช้ได้ ตั้งแต่ 2 ถึง 8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.3.2 ส่วนใหญ่ออกแบบเป็นโครงสร้างแม่พิมพ์เดี่ยว (single die) ไม่ต้องใช้ตัวระบายความร้อน มีขนาดพิกัดกระแส ในช่วงตั้งแต่ 1 มิลลิแอมแปร์ จนถึงมากกว่า 20 มิลลิแอมแปร์ สำหรับรูปทรงภายนอกจะมีทั้งกลมหัวมนแบบโดม หรือด้านบนแบนราบ หรือทรงสี่เหลี่ยม หรือทรงสามเหลี่ยม เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันไป เมื่อไม่นานมานี้ ทีมนักวิจัยของมหาวิทยาลัยวอชิงตันได้พัฒนาแอลอีดีซึ่งบางสุด หนาเพียง 3 อะตอมเท่านั้น ซึ่งจะบางกว่าแอลอีดีแบบเดิม 10-20 เท่า ซึ่งแอลอีดีแบบเดิมเป็นขนาด 3 มิติ คือ กว้างxยาวxหนา แต่ที่พัฒนาขึ้นเป็น 2 มิติ คือ กว้างxยาว เนื่องจากบางมาก เล็กกว่าความหนาเส้นผมคนถึง 10,000 เท่า จึงเป็นไปได้ที่จะสร้างแอลอีดีให้มีขนาดเล็กลง ให้แสงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น จนนำมาใช้ในวงการสื่อสารใยแก้วและนาโนเลเซอร์ได้

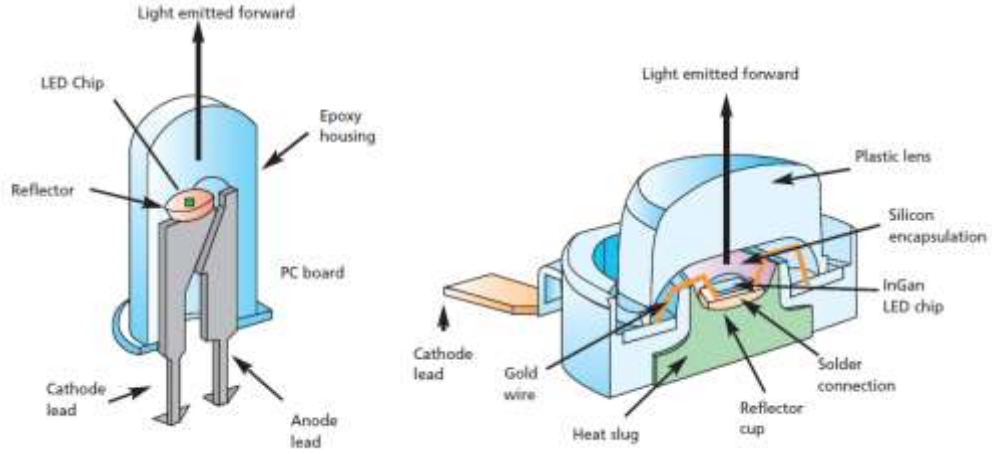
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

รูปที่ 2.3.2 แอลอีดีขนาด 8 ม.ม. 5 ม.ม. และ 3 ม.ม. เทียบกับไม้ขีดไฟ
(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.en.wikipedia.org/wiki/LED , 2017)

สำหรับแอลอีดีขนาดเล็ก มีจุดเด่น 3 ประการ คือ (1) กระแสต่ำ มีค่าพิกัดกระแสตัวอย่าง 2 มิลลิแอมแปร์ ที่ค่าแรงดัน 2 โวลต์ นั่นคือ จะใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 4 มิลลิวัตต์ เท่านั้น (2) มีมาตรฐาน เป็นแอลอีดีขนาด 20 มิลลิแอมแปร์ มีการใช้พลังงานโดยประมาณในช่วง 40-90 มิลลิวัตต์ โดยที่มีค่าแรงดัน ดังนี้ แรงดัน 1.9-2.1 โวลต์ สำหรับ แสงสีแดง สีส้มและสีเหลือง แรงดัน 3.0-3.4 โวลต์ สำหรับ แสงสีเขียวและสีน้ำเงิน แรงดัน 2.9-4.2 โวลต์ สำหรับแสงสีม่วง สีชมพู และสีขาว (3) ผลลัพธ์แสงที่ได้มีค่าสูง ที่ค่ากระแส 20 มิลลิแอมแปร์ ค่าแรงดัน 2 โวลต์ หรือ 4-5 โวลต์ จะออกแบบสำหรับการมองเห็นภายใต้แสงแดดโดยตรง สำหรับแอลอีดี ขนาด 5 โวลต์ และ 12 โวลต์ ก็จะเป็นแอลอีดีขนาดเล็กธรรมดาเช่นกัน ซึ่งต้องต่อวงจรอนุกรมกับตัวความต้านทาน เพื่อให้ต่อโดยตรงเข้ากับแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 โวลต์ หรือ 12 โวลต์ได้

(2) แอลอีดีกำลังสูง ตัวแอลอีดีกำลังสูงสามารถใช้กระแสจากหลัก 100 มิลลิแอมแปร์ จนถึงมากกว่า 1 แอมแปร์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้กระแสในหลัก 10 มิลลิแอมแปร์สำหรับแอลอีดีทั่วไป ดังนั้นแอลอีดีกำลังสูงบางหลอดสามารถให้แสงได้มากกว่า 1,000 ลูเมน จากกระแสที่สูงทำให้เกิดความร้อนสูง ดังนั้นแอลอีดีกำลังสูงจึงต้องติดตั้งตัวระบายความร้อน เพราะถ้าไม่ระบายความร้อนที่สูงเกิน จะทำให้อุปกรณ์เสียหายภายในเวลาไม่กี่วินาทีเท่านั้น แสดงโครงสร้างแอลอีดีกำลังสูงเปรียบเทียบกับแอลอีดีขนาดเล็ก ในรูปที่ 2.3.3 จะเห็นว่าแอลอีดีกำลังสูงออกแบบให้นำความร้อนออกจากชิป มีหลายครั้งที่ใช้แอลอีดีกำลังสูงเพียงตัวเดียว สามารถแทนที่หลอดไส้ของไฟแฟลชได้ หรืออาจจะต่อวงจรใช้แอลอีดีหลายตัวให้เป็นชุด เพื่อให้ได้หลอดแอลอีดีที่มีกำลังส่องสว่างสูง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย



รูปที่ 2.3.3 โครงสร้างของแอลอีดีกำลังต่ำและแอลอีดีกำลังสูง
(ที่มา : The SLL Lighting Handbook, 2009 : p.76)

ในรูปที่ 2.3.3 ชิปในแอลอีดีเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำซึ่งติดตั้งอยู่กลางหลอด สารกึ่งตัวนำมีอยู่หลายชนิด แต่ละชนิดสามารถให้แสงสีที่แตกต่างกันได้ ดังแสดงวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ได้ใช้ปกติอยู่ในแอลอีดี ดังในตารางที่ 2.3.1 กล่าวอีกอย่างคือ สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะให้ความยาวคลื่นที่แตกต่างกันได้ และยังมีค่าแรงดันตกคร่อมที่แตกต่างกันอีกด้วย

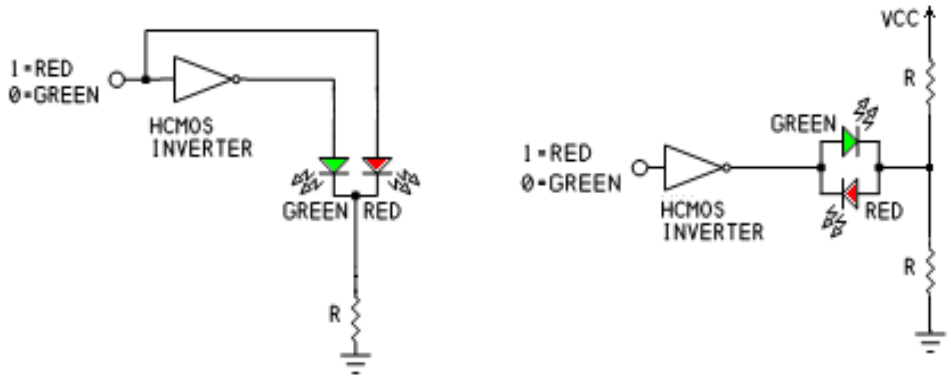
ตารางที่ 2.3.1 สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในแอลอีดีและแสงสีที่ออกมา

วัสดุสารกึ่งตัวนำ	แสงสีที่ออกมา
อลูมิเนียมแกลเลี่ยมอาเซไนด์ (AlGaAs)	สีแดง และ อินฟาเรด
อลูมิเนียมแกลเลี่ยมฟอสไฟด์ (AlGaP)	สีเขียว
อลูมิเนียมแกลเลี่ยมอินเดียมฟอสไฟด์ (AlGaInP)	สีส้ม-แดง สีส้ม สีเหลือง และสีเขียว
แกลเลี่ยมอาเซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP)	สีแดง สีส้ม-แดง สีส้ม และสีเหลือง
แกลเลี่ยมฟอสไฟด์ (GaP)	สีแดง สีเหลือง และสีเขียว
แกลเลี่ยมไนไตรด์ (GaN)	สีเขียว และสีน้ำเงิน
อินเดียมแกลเลี่ยมไนไตรด์ (InGaN)	ใกล้สีเหนือม่วง สีเขียว และสีน้ำเงิน
ซิงค์เซเลไนด์ (ZnSe)	สีน้ำเงิน
อลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) , อลูมิเนียมแกลเลี่ยมไนไตรด์ (AlGaN)	ใกล้สีเหนือม่วง
ไดอะมอนด์ (C)	สีเหนือม่วง

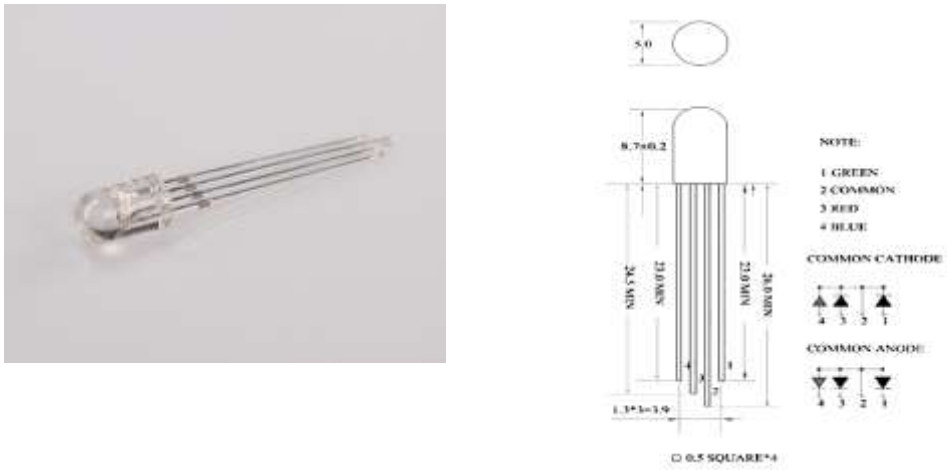
(ที่มา : The SLL Lighting Handbook, 2009 : p.75)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

(3) แอลอีดีที่ออกแบบตามความต้องการของลูกค้า เช่น แอลอีดีสองสี (Bi-color LED) ดังในรูปที่ 2.3.4 โครงสร้างภายนอกเหมือนแอลอีดีปกติ เพียงแต่มีชิปแอลอีดีมากกว่าอันเดียวภายในโครงสร้างเดียวกัน แอลอีดีสองสีมี 2 ชนิด คือ ชนิดแรก เมื่อกระแสไหลในทิศทางหนึ่งจะให้แสงสีหนึ่ง และเมื่อกระแสไหลในทิศตรงกันข้ามจะให้แสงอีกสี ชนิดที่สอง สามารถควบคุมได้ว่าจะให้แสงสีอะไร อีกตัวอย่างคือ แอลอีดีสามสี (Tri-color LED) ดังในรูปที่ 2.3.5 แอลอีดีสามารถให้แสงได้ 3 สี คือ แดง เขียว และน้ำเงิน ปกติแอลอีดีแบบนี้จะมี 4 ขา โดยเป็นขาร่วม 1 ขา ซึ่งจะเป็นขาร่วมอาโนด หรือแคโทดก็ได้ ส่วนอีก 3 ขา ก็จะแยกเป็นแต่ละสีนั่นเอง ดังนั้นสามารถควบคุมให้มีสีตามต้องการได้อย่างอิสระ นอกจากนั้นยังมีหลายกรณี เช่น แอลอีดีแสดงผลเจ็ดส่วน (Seven-segment LED display) ซึ่งนิยมในช่วง ค.ศ.1970-1980 เป็นต้น



รูปที่ 2.3.4 ไดอะแกรมแอลอีดีสองสี (Bi-Color LED)
(ที่มา : เว็บไซต์ www.scienceprog.com/bi-color-led-indication/ , 2016)



รูปที่ 2.3.5 ตัวอย่างแอลอีดีสามสี (Tri-Color LED)
(ที่มา : เว็บไซต์ www.superbrightleds.com/moreinfo/component-leds/ , 2016)

ข้อมูลด้านเทคนิคของแอลอีดี

ในการจะระบุลักษณะของแอลอีดี เพื่อการนำมาใช้งานนั้น ว่าควรประกอบไปด้วยข้อมูลอะไรบ้าง จะต้องดูข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับแอลอีดีซึ่งระบุในข้อกำหนดของผู้ผลิตแอลอีดี ดังแสดงตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคของแอลอีดี ในตารางที่ 2.3.2 เป็นข้อมูลด้านเทคนิคของแอลอีดี ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร แบบหัวมน

ตารางที่ 2.3.2 ตัวอย่างข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับแอลอีดีขนาด 5 มิลลิเมตร

ชนิด	**สี**	**I_F (มากสุด)**	**V_F (ค่าต.ย.)**	V_F มากสุด	V_R มากสุด	ความเข้มส่องสว่าง (mcd)	มุมมองเห็น	ความยาวคลื่น (nm)
Standard	**Red**	**30 mA**	**1.7 V**	2.1 V	5 V	5 @10mA	60^0	660
Standard	**Bri. red**	**30 mA**	**2.0 V**	2.5 V	5 V	80 @10mA	60^0	625
Standard	**Yellow**	**30 mA**	**2.1 V**	2.5 V	5 V	32 @10mA	60^0	590
Standard	**Green**	**25 mA**	**2.2 V**	2.5 V	5 V	32 @10mA	60^0	565
High intensity	**Blue**	**30 mA**	**4.5 V**	5.5 V	5 V	60 @20mA	50^0	430
S. bright	**Red**	**30 mA**	**1.85 V**	2.5 V	5 V	500 @20mA	60^0	660
L. current	**Red**	**30 mA**	**1.7 V**	2.0 V	5 V	5 @2mA	60^0	625

(ที่มา : เว็บไซต์ The Electronics Club www.kpsec.freeuk.com/led.htm , 2016)

จากข้อมูลด้านเทคนิคของแอลอีดีในตารางที่ 2.3.2 มีข้อมูลที่สำคัญใน 3 คอลัมน์ ซึ่งแสดงด้วยอักษรตัวหนา ส่วนความหมายของแต่ละคอลัมน์ คือ (1) ชนิด(Type) ของแอลอีดี ซึ่งมีทั้งชนิดมาตรฐาน(Standard) ความสว่างมาก(Super bright) ความเข้มสูง(High intensity) และค่ากระแสต่ำ (2) สี(Color) มีให้เลือกใช้ทั้งสีแดง สีเขียว สีเหลือง และสีน้ำเงิน (3) พิกัดกระแสหรือกระแสไบแอสตรงมากสุด(Maximum forward current) ซึ่งไบแอสตรงหมายถึง การต่อวงจรแอลอีดีถูกต้อง (4) ค่าตัวอย่างแรงดันไบแอสตรง(Typical forward voltage) โดยปกติจะมีค่าช่วงประมาณ 2 โวลต์ ยกเว้นแอลอีดีสีน้ำเงินและสีขาว จะมีค่าประมาณ 4 โวลต์ (5) แรงดันไบแอสตรงมากสุด(Maximum forward voltage) (6) แรงดันย้อนกลับมากสุด(Maximum reverse voltage) ซึ่งค่านี้ไม่ต้องนำมาใช้ในการคิดเมื่อต่อวงจรแอลอีดีถูกต้อง (7) ความเข้มการส่องสว่าง (Luminous intensity) เป็นค่าความสว่างของแอลอีดีที่ค่ากระแสที่กำหนดไว้ เช่น ความสว่าง 60 มิลลิแคนเดลา ที่ค่ากระแส 20 มิลลิแอมแปร์ เป็นต้น (8) มุมมองเห็น (Viewing angle) จะเป็นค่ามุมลำแสงของแอลอีดี หน่วยเป็นองศา (9) ความยาวคลื่น(Wavelength) เป็นค่าความยาวคลื่นของแสงจากแอลอีดี มีหน่วยเป็น นาโนเมตร(nm)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

การประยุกต์ใช้แอลอีดี

ในการนำแอลอีดีไปประยุกต์ใช้งานที่ผ่านมา แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ คือ (1) ตัวชี้บอกและสัญลักษณ์ (indicators and signs) จะใช้แอลอีดีให้แสงเป็นสัญญาณโดยตรงจากแหล่งกำเนิดให้คนมองเห็น เพื่อการให้ข่าวหรือความหมายต่างๆ (2) ความสว่าง (Illumination) จะใช้แอลอีดีให้แสงสว่าง เพื่อการมองเห็นและเพื่อปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ (3) การวัดและปฏิกิริยา (Measuring and interacting) ซึ่งมีต่อขบวนการทำงานที่ไม่สามารถจะมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ (4) เซ็นเซอร์แสง (Light sensor/detector) ใช้แอลอีดีในการตรวจวัดหรือตรวจจับแสง โดยจะใช้แอลอีดีทำงานในโหมดไบแอสย้อนกลับ และตอบสนองกับแสงที่มาตกกระทบ (Wikipedia-LED, 2017) ดังนี้

(1) ตัวชี้บอกและสัญลักษณ์ เนื่องจากแอลอีดีใช้พลังงานต่ำ การบำรุงรักษาน้อย และมีขนาดเล็ก ทำให้มีการนำไปใช้เป็นตัวแสดงสถานะและสัญญลักษณ์ในอุปกรณ์เครื่องมือมากมาย และมีจอแสดงผลแอลอีดีขนาดใหญ่นำไปใช้แสดงผลในสนามกีฬาและในสถานที่ต่างๆ จอแสดงผลซึ่งขนาดบางและมีน้ำหนักเบานำไปใช้ตามสนามบินและสถานีรถไฟ สัญญาณไฟจราจรจากแอลอีดีได้ใช้อย่างแพร่หลาย ดังในรูป 2.3.6 เนื่องจากแอลอีดีอายุใช้งานยาวนาน ปิดเปิดได้เร็ว และยังมองเห็นได้ชัดในกลางวัน แอลอีดีจึงใช้ในไฟเบรกของรถยนต์ ซึ่งช่วยให้ปลอดภัยขึ้น เนื่องจากให้ความสว่างได้เร็วกว่าหลอดไส้ 0.5 วินาที (Wikipedia-LED, 2017) ทำให้ผู้ขับรถคันหลังมีเวลามากขึ้น ในการปฏิบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง ขณะขับรถมาด้วยความเร็วสูง เป็นต้น

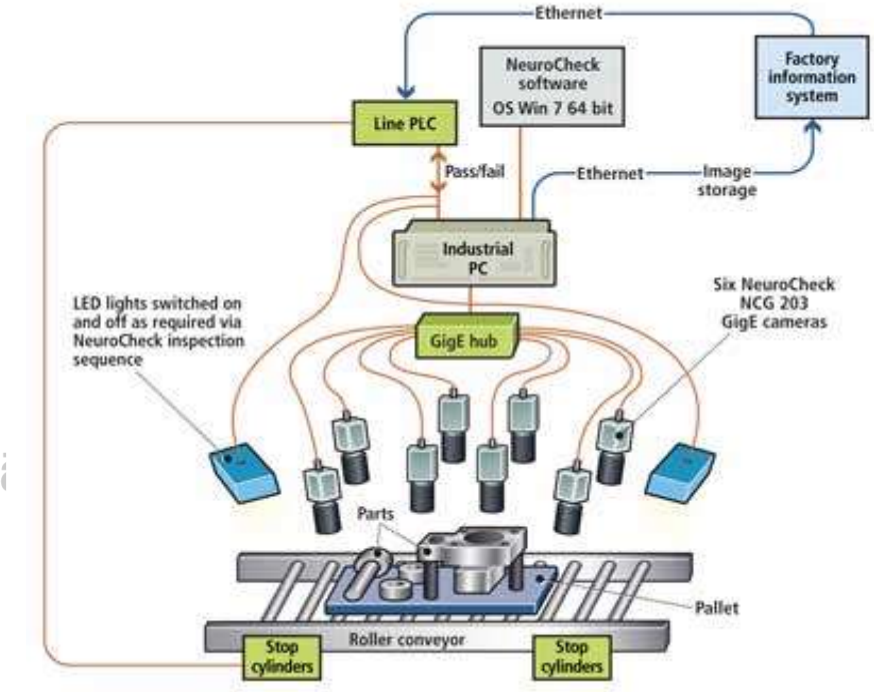
รูปที่ 2.3.6 แอลอีดีใช้ในสัญญาณไฟจราจร

(2) ความสว่าง จากการพัฒนาแอลอีดีให้มีประสิทธิผลสูงและมีกำลังสูงมากขึ้น จึงมีผลทำให้สามารถใช้แอลอีดีในการส่องสว่าง ตัวอย่างเช่น การใช้แอลอีดีมาทดแทนหลอดไส้ชนิดขั้วเกลียว E27 ดังในรูปที่ 2.3.7 และการใช้แอลอีดีแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังในรูปที่ 2.3.8 ซึ่งมีจุดเด่นที่เหนือกว่าหลอดไส้และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เพราะอายุใช้งานที่ยาวนานกว่า และให้ความร้อนออกมาน้อยกว่า รวมถึงเปิดปิดได้รวดเร็วกว่า ในปี ค.ศ.2007 หมู่บ้าน Torraca ในอิตาลี เป็นสถานที่แรกซึ่งเปลี่ยนระบบแสงสว่างทั้งหมดให้ใช้แอลอีดี แอลอีดีช่วยในการทำเหมือง โดยทำโคมไฟหมวกให้แสงสว่างสำหรับคนงาน ผลวิจัยพบว่า ช่วยลดแสงรบกวนและเพิ่มความสว่าง จึงลดการเสี่ยงจากการบาดเจ็บของคนงานเหมืองได้ ในปัจจุบันแอลอีดีจึงใช้ในทุกพื้นที่เพื่อให้ความสว่าง ทั้งในพื้นที่สำหรับการค้าจนถึงการใช้ในบ้านเรือน รวมถึงไฟสาธารณะ ที่ซึ่งจำเป็นต้องใช้ไฟประดิษฐ์

รูปที่ 2.3.7 แอลอีดีใช้แทนหลอดไส้ชนิดขั้วเกลียว E27

รูปที่ 2.3.8 แอลอีดีใช้แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์

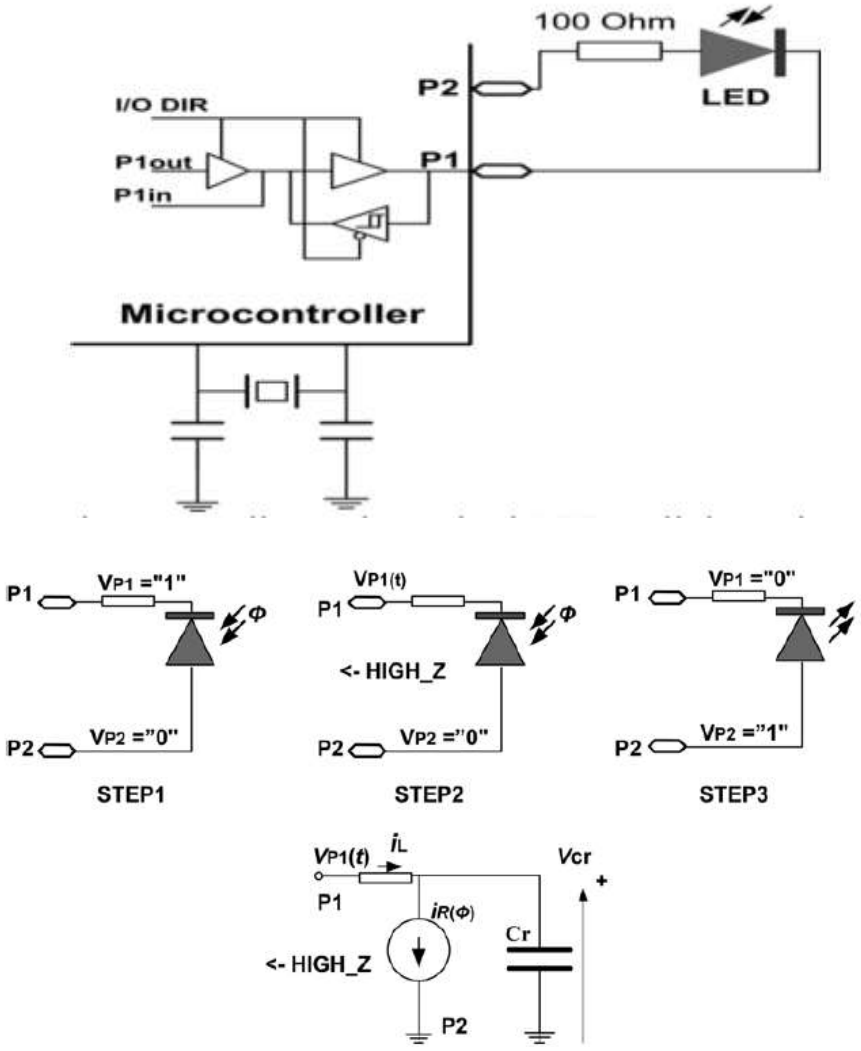
(3) การวัดและปฏิกิริยา เป็นการใช้แอลอีดีภายในขบวนการทำงานที่ไม่สามารถจะมองเห็นได้ด้วยตามนุษย์ ตัวอย่างเช่น ระบบตรวจสอบชิ้นส่วนวัสดุด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ดังในรูปที่ 2.3.9 ใช้แอลอีดีร่วมในกระบวนการตรวจสอบชิ้นส่วนวัสดุแบบอัตโนมัติ ระบบลักษณะนี้จะนิยมใช้แสงที่สว่างและมีคุณสมบัติเหมือนกัน อีกตัวอย่างของระบบตรวจสอบด้วยเครื่องจักร คือ เครื่องสแกนบาร์โค้ดซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ราคาเครื่องจะต่ำลงมาก เมื่อเลือกใช้แอลอีดีสีแดงแทนที่การใช้เลเซอร์แบบเดิม แอลอีดีจึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ดีมาก สำหรับระบบตรวจสอบหรือตรวจวัดด้วยเครื่องจักร ด้วยหลายเหตุผล เช่น ไม่ง่ายนักที่จะทำการเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงภายในเครื่องจักรที่ซับซ้อน ดังนั้นแอลอีดีที่มีอายุใช้งานยาวนานจึงเป็นที่ต้องการ แอลอีดีมีหลายสี หรือหลายความยาวคลื่นนั่นเอง จึงทำให้ง่ายที่จะเลือกใช้สีดีที่สุดสำหรับแต่ละความต้องการ สีที่แตกต่างอาจจะให้การตรวจสอบหรือมองเห็นที่ดีกว่าก็ได้ อีกตัวอย่างคือ แสงสามารถใช้ส่งข้อมูลและสัญญาณอนาลอกได้ มีอุปกรณ์ช่วยฟังในโรงภาพยนตร์หรือโรงละคร ซึ่งใช้แอลอีดีอินฟราเรดในการส่งเสียงไปยังเครื่องรับของผู้ฟัง แสงจากแอลอีดีสามารถมอดูเลตได้เร็ว ดังนั้นจึงใช้กับสายไฟเบอร์ออฟติกในการสื่อสารได้ รวมทั้งการใช้รีโมทคอนโทรลสำหรับโทรทัศน์ซึ่งจะนิยมใช้แอลอีดีอินฟราเรด ระบบเซ็นเซอร์หลากหลายชนิดจะใช้แสงเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณ ดังนั้นแอลอีดีจึงเป็นแหล่งกำเนิดแสงซึ่งเป็นที่ต้องการของระบบเซ็นเซอร์เหล่านั้น (Wikipedia-LED, 2017)



รูปที่ 2.3.9 แอลอีดีในกระบวนการตรวจสอบชิ้นส่วนวัสดุ

(ที่มา : เว็บไซต์ www.vision-systems.com/articles/volume-18/issue-5/ , 2016)

(4) เซ็นเซอร์แสง โดยปกติแอลอีดีสามารถให้แสงสว่างออกมา เมื่อป้อนค่าแรงดันที่เหมาะสม ตามหลักการทำงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นในทางกลับกัน เมื่อให้แอลอีดีรับแสงสว่าง แล้วมาวัดค่าแรงดันก็จะสามารถตรวจวัดค่าความสว่างนั้นได้ โดยหลักการนี้จึงสามารถใช้แอลอีดีมาเป็นตัวตรวจวัดแสงได้ในราคาไม่แพง แต่อย่างไรก็ตาม แอลอีดีสามารถตรวจวัดแสงที่ค่าความยาวคลื่นสั้นกว่าคลื่นของแสงที่แอลอีดีตัวนั้นปล่อยออกมา ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นตัวตรวจจับแยกความยาวคลื่นได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น แอลอีดีซึ่งปล่อยแสงสีเขียวเหลือง มีค่ายอดคลื่นประมาณ 555 นาโนเมตร จะใช้ตรวจจับแสงสีเขียวที่มีค่ายอดคลื่นราว 525 นาโนเมตร และบนความกว้างของสเปกตรัม 50 นาโนเมตร ดังตัวอย่าง วงจรในรูปที่ 2.3.10 ใช้แอลอีดีและไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นชุดส่งและตรวจจับแสงได้



รูปที่ 2.3.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์และแอลอีดีใช้เป็นชุดส่งและตรวจจับแสง

(ที่มา : Journal of Physics : Conference Series 76012054, 2007)

การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์

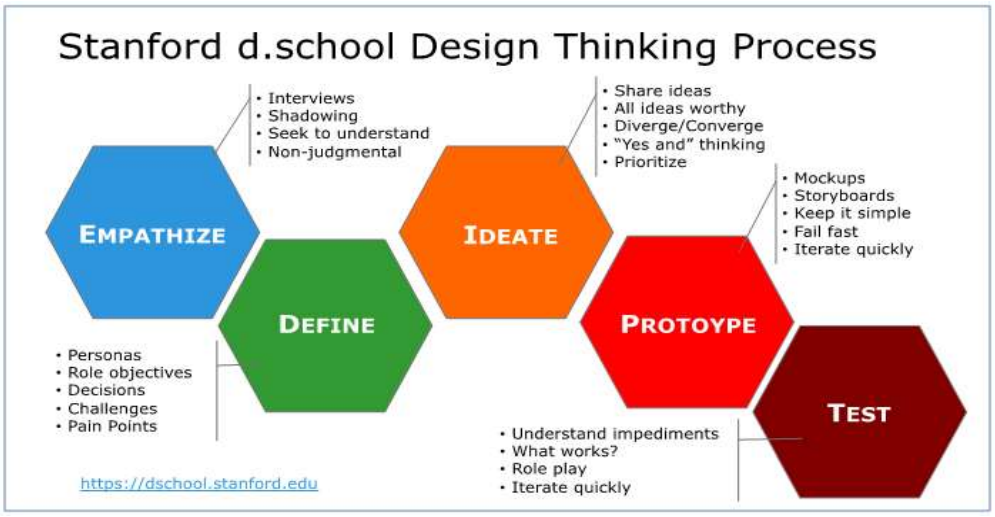
มีแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันอยู่ 2 แนวคิด คือ แนวคิดทางด้านธุรกิจ และแนวคิดทางด้านวิศวกรรม ถ้าจากปัญหาภาวะโลกร้อน (Global Warming) ซึ่งส่งผลกระทบรุนแรงไปถึงผู้คนในทั่วทุกพื้นที่ โดยเฉพาะการปล่อยมลพิษจากภาคพลังงานซึ่งมีสัดส่วนที่สูง ทำให้เกิดแนวคิดร่วมกันในการแก้ปัญหา โดยใช้แนวทางสังคมคาร์บอนต่ำ เพื่อกำจัดก๊าซเรือนกระจกพร้อมกับลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้มากที่สุด แนวทางสังคมคาร์บอนต่ำจึงแพร่หลายไปทั่วโลก ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขึ้นเพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ จึงถือได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์แล้วจะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ที่สอดคล้องกับทั้งสองแนวคิดหรือไม่ ดังนี้

แนวคิดในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์

การพัฒนาและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นมาก ในยุคที่ธุรกิจมีการแข่งขันที่สูงมากขึ้น โดยจะมีทั้งนักบริหารมืออาชีพที่มีความรู้ความชำนาญ และมีประสบการณ์ในการทำธุรกิจมาเป็นเวลายาวนาน และนักบริหารรุ่นใหม่ที่มีทั้งความทะเยอทะยาน มีความคิดและความสามารถที่ไม่เพียงแต่สามารถเทียบเคียงกับรุ่นก่อนได้ แต่ยังอาจจะฉีกตำราและกฎการทำธุรกิจได้อย่างสิ้นเชิง ดังนั้นการที่จะเอาชนะคู่แข่งในตลาดได้ในสถานการณ์เช่นนี้นั้น การสร้างสรรค์ความคิดและการหาแนวทางในการพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ใหม่ ถือเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการดำเนินธุรกิจในยุคปัจจุบัน ที่จะทำให้ธุรกิจสามารถเอาชนะใจลูกค้าและประสบความสำเร็จได้อย่างยั่งยืน ทั้งนี้แนวคิดในการพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีจุดเริ่มต้นคือ ความต้องการ และผลสุดท้ายคือต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ายอมรับได้ เหมือนกัน อาจแยกได้เป็น 2 แนวคิด คือ แนวคิดทางด้านธุรกิจและแนวคิดทางด้านวิศวกรรม โดยที่ แนวคิดทางด้านธุรกิจ จะพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นการตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก ส่วนแนวคิดทางด้านวิศวกรรม จะพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นเพิ่มประสิทธิภาพหรือประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ดังนี้

แนวคิดทางด้านธุรกิจ จะมีกระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking Process) ซึ่งพัฒนาโดย Hasso Plattner Institute of Design (d.School) แห่งมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด โดยเริ่มจากการทำความเข้าใจกับปัญหาและความต้องการของลูกค้าอย่างลึกซึ้ง จากนั้นจึงเริ่มระดมสมองสร้างสรรค์ไอเดีย การสร้างคุณค่าหรือแก้ไขปัญหาต่างๆ จากคนหลายกลุ่ม เพื่อนำไปทดสอบหรือทดลองนำเสนอให้กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มลูกค้าเป้าหมายของสินค้าหรือบริการนั้นๆ แล้วจึงนำไปพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการที่มีมูลค่าเพิ่ม ตอบโจทย์และเป็นที่ต้องการของลูกค้า (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2559 : หน้า 17) ดังแสดง กระบวนการคิดเชิงออกแบบ ในรูปที่ 2.4.1

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



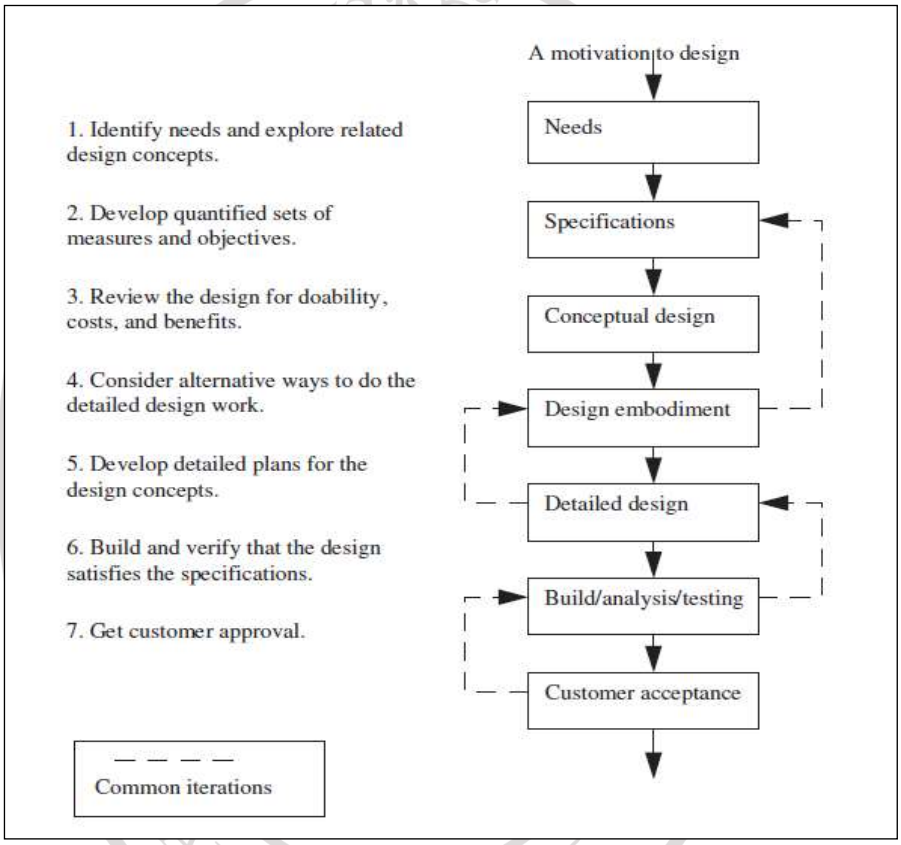
รูปที่ 2.4.1 กระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking Process)

(ที่มา : เว็บไซต์ https://dschool.stanford.edu , 2016)

จึงสรุปได้ว่า ในการพัฒนามูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์ด้วย กระบวนการคิดเชิงออกแบบ มีขั้นตอน 5 ขั้นตอนสำคัญ คือ (1) EMPATHIZE การทำความเข้าใจลูกค้า นั่นคือ จะเป็นการเก็บข้อมูล (Data Collection) เพื่อทำความเข้าใจลูกค้าได้อย่างลึกซึ้งถึงสาเหตุของการกระทำต่างๆ ของลูกค้า ความต้องการ ความคิดและคุณค่าที่ลูกค้ามุ่งให้ความสำคัญ (2) DEFINE การกำหนดโจทย์ความต้องการของลูกค้า นั่นคือ เป็นการคัดกรองข้อมูลและกำหนดโจทย์ (Identify Insight) จากสิ่งที่ลูกค้าให้ความสำคัญ พฤติกรรมการซื้อสินค้าของลูกค้า ซึ่งได้จากการเชื่อมโยงประเด็นต่างๆ จากขั้นตอนแรก เพื่อให้เห็นได้ถึงความเกี่ยวเนื่อง และเพื่อให้สามารถจัดกลุ่มความคิดได้อย่างเป็นระบบ (3) IDEATE การระดมความคิดเห็น นั่นคือ เป็นการสร้างสรรค์ไอเดีย (Generate Idea) เพื่อตอบโจทย์ลูกค้า เพื่อพัฒนาสินค้าหรือบริการเพื่อตอบโจทย์ความต้องการ หรือความรู้สึกนึกคิดของลูกค้า หาหนทางแก้ไข หรือเติมเต็มในสิ่งที่สินค้าหรือบริการในปัจจุบันนั้น ยังไม่สามารถจะตอบโจทย์ได้อย่างเต็มที่ (4) PROTOTYPE การสร้างต้นแบบหรือสินค้าจำลอง นั่นคือ เป็นการพัฒนาต้นแบบ (Develop Prototype) เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่ลูกค้าสามารถเข้าใจหรือจับต้องได้ เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมและผลลัพธ์ของสินค้าหรือบริการได้ชัดเจนมากขึ้น (5) TEST การทดสอบตลาด นั่นคือ การทดสอบตลาด (Market Testing) เพื่อให้สามารถดูผลตอบรับจากลูกค้า และนำผลตอบรับมาปรับปรุงพัฒนาสินค้าหรือบริการจริง (กรมพัฒนาธุรกิจการค้า, 2559 : หน้า 18)

ส่วนแนวคิดทางด้านวิศวกรรม มีกระบวนการออกแบบด้านวิศวกรรม เป็นกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ เพื่อการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ กระบวนการออกแบบด้านวิศวกรรม (Engineering Design Process) แบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอน (Haugh Jack, 2013) ดังนี้ (1) การกำหนด

ปัญหาหรือความต้องการ (Identify Needs) (2) การพัฒนาข้อกำหนด (Develop Specifications) (3) สร้างแนวคิดในการออกแบบ (Conceptual Design) (4) ออกแบบในลักษณะเป็นรูปร่าง (Embodiment Design) (5) การออกแบบในรายละเอียด (Detailed Design) (6) การสร้างต้นแบบและทดสอบ (Build Prototype and Prototype Testing) (7) การยอมรับของผู้ใช้งาน (Customer Acceptance) ดังแสดงในรูปที่ 2.4.2



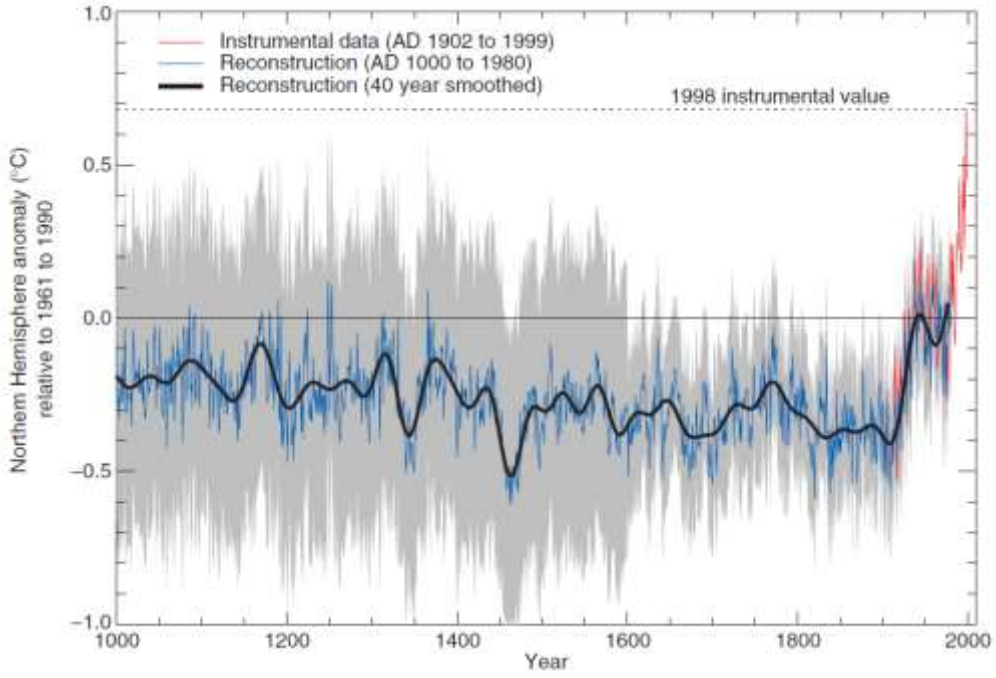
รูปที่ 2.4.2 กระบวนการออกแบบด้านวิศวกรรม (Engineering Design Process)

(ที่มา : Engineering Design, Planning, and Management : Haugh Jack, 2013 : p.4)

จากทั้งสองแนวคิด ซึ่งมีจุดเริ่มต้น คือ ปัญหาหรือความต้องการ และผลผลิตที่ได้คือต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้าชอบและยอมรับได้ จะเห็นว่าเหมือนกันทั้งสองแนวคิด เราจะสังเกตเห็นความแตกต่างในกระบวนการอย่างชัดเจน คือ ในแนวคิดทางด้านธุรกิจ จะพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์โดยมุ่งเน้นตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก ในทุกขั้นตอนจะวิเคราะห์ถึงลูกค้าจึงเป็นการเน้นที่ตลาดของผู้บริโภคเพื่อให้สามารถจัดจำหน่ายได้นั่นเอง ส่วนแนวคิดด้านวิศวกรรมจะเห็นว่าการพัฒนาหรือเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ มุ่งที่การออกแบบเพื่อสร้างให้รอบคอบในทุกขั้นตอนโดยเน้นเพิ่มประสิทธิภาพหรือประสิทธิผลของผลิตภัณฑ์เป็นหลัก เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ตามต้องการ และใช้ได้อย่างมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพนั่นเอง

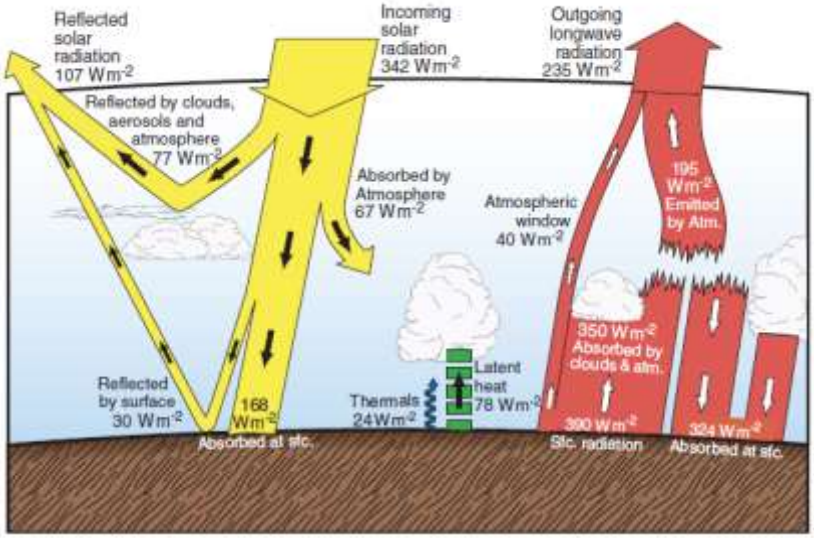
ภาวะโลกร้อนและการปล่อยมลพิษ

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) โดยอุณหภูมิของโลกในช่วงศตวรรษที่ 20 เพิ่มสูงขึ้นกว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วง 1,000 ปีที่ผ่านมา ประมาณ 1 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.4.3 จะเห็นว่า ในช่วงที่ผ่านมา อุณหภูมิของโลกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ในระยะหลังตั้งแต่ ค.ศ. 1861 นี้เอง ที่อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นักวิทยาศาสตร์ได้ศึกษาพบว่า การเพิ่มของอุณหภูมิโลกเป็นผลจากปริมาณก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในชั้นบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ ตามปกติแล้ว เมื่อรังสีจากแสงอาทิตย์ส่องลงมายังโลก รังสีส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับไป อีกส่วนหนึ่งถูกดูดซับไว้ในชั้นบรรยากาศ ส่วนที่เหลือจะผ่านลงมาสู่พื้นโลก และถูกดูดซับไว้โดยพื้นดินและทะเลเป็นส่วนใหญ่ รังสีความร้อนที่ตกกระทบบนผิวโลกส่วนหนึ่ง จะสะท้อนกลับออกมา ในรูปของรังสีที่มีคลื่นความถี่ยาว และบางส่วนจะถูกดูดซับโดยก๊าซต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้ในภาวะปกติจะมีความสมดุลพลังงานของรังสีจากแสงอาทิตย์ที่มีทั้งเข้ามาและออกไป ดังแสดงค่าเฉลี่ยสมดุลในรูปที่ 2.4.4 แต่เมื่อก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น จึงดูดซับหรือสะท้อนรังสีความร้อนกลับลงมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิในชั้นบรรยากาศสูงขึ้น เพราะโลกไม่สามารถระบายความร้อนออกนอกชั้นบรรยากาศได้เช่นเดิม อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจดูไม่มากนัก แต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยนี้ ได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้น



รูปที่ 2.4.3 อุณหภูมิของบริเวณขั้วโลกเหนือในช่วง 1,000 ปี ที่ผ่านมา

(ที่มา : Climate Change 2001, The Scientific Basis. IPCC, 2001 : p. 29)



รูปที่ 2.4.4 ค่าเฉลี่ยของรังสีจากแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกแล้วไหลเวียนอย่างสมดุล

(ที่มา : Climate Change and Climate Modeling, 2011 : p.46)

ชั้นบรรยากาศจะมีก๊าซเรือนกระจก ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ ที่เกิดขึ้นมาตามธรรมชาติ เพื่อช่วยในการโอบอุ้มความร้อนและพลังงานไม่ให้สูญเสียออกเร็วเกินไป ตามปกติก๊าซเรือนกระจกมีปริมาณไม่เกิน 1% ในชั้นบรรยากาศ ก็เพียงพอแล้ว สำหรับการรักษาให้โลกมีอุณหภูมิที่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส แล้วก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้นมาได้อย่างไร คำตอบคือ มาจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมของโลกตะวันตกนั่นเอง ทำให้เริ่มมีการใช้เครื่องจักรไอน้ำ การผลิตแบบอุตสาหกรรม การเดินทางโดยรถไฟ รถยนต์ เครื่องจักรกล เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งล้วนจะต้องใช้พลังงานทั้งสิ้น พลังงานส่วนใหญ่นั้นได้มาจากการขุดเจาะเอาซากฟอสซิลขึ้นมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ในรูปของถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ดังนั้นธาตุคาร์บอนที่ฝังลึกอยู่ใต้ดินมาอย่างยาวนาน จึงถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ โดยจับตัวกับก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ก่อเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปกติก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินั้น บางส่วนจะถูกพืชดูดซับไว้ใช้ในการเจริญเติบโต ธาตุคาร์บอนจึงถูกเปลี่ยนรูปมากักเก็บไว้ในส่วนต่างๆ ของพืช การตัดไม้ทำลายป่าจึงเป็นการทำลายแหล่งกักเก็บคาร์บอน จะเป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศขึ้นมาอีก ภาวะโลกร้อนมีผลต่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลทำให้ฤดูกาลต่างๆ เปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตที่ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปจะค่อยๆ เสียชีวิตลงและอาจสูญพันธุ์ไปในที่สุด จากความตื่นตัวในเรื่องภาวะโลกร้อนนี้ ทำให้หลายประเทศทั่วโลกได้ร่วมมือกัน ในการร่วมกันแก้ไขและคำนึงถึงการรักษาระดับความหนาแน่นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และภูมิอากาศโลก

การปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคพลังงาน ซึ่งวิธีการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศในภาคพลังงานนั้น เป็นการประมาณค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เกิดจากการใช้พลังงาน ดังนั้นเป็นการคำนวณจาก ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามหลักเกณฑ์ของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ฉบับปี 2006 มีสูตรคำนวณ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558 : หน้า 175) ดังนี้

$$CO_2 \text{ Emission} = \sum (EF_{Fuel} \times FC_{Fuel})$$

โดยที่ CO_2 Emission หมายถึง ปริมาณปล่อยก๊าซ CO_2 จากการใช้พลังงาน

EF_{Fuel} หมายถึง สัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซ CO_2 ตามชนิดเชื้อเพลิง

FC_{Fuel} หมายถึง ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละชนิด

การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าหรือต่อหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ดังในตารางที่ 2.4.1 เป็นปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยผลิตไฟฟ้า ของประเทศไทย ในรอบ 24 ปี ปี พ.ศ. 2534 - 2557 จะเห็นว่าจาก 0.685 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในปี 2534 ลดลงเหลือ 0.609 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง ในปี 2538 ก่อนเพิ่มขึ้นในปี 2540 เป็น 0.656 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง หลังจากนั้นมีแนวโน้มลดลง ตามสัดส่วนของก๊าซธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยปี 2557 ปล่อย 0.548 กิโลกรัมต่อ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง เฉลี่ยลดลงร้อยละ 1.0 ต่อปี

ตารางที่ 2.4.1 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยการผลิตไฟฟ้าของไทย

หน่วย : กิโลกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ปี พ.ศ.	CO_2	ปี พ.ศ.	CO_2	ปี พ.ศ.	CO_2
2535	0.657	2543	0.634	2551	0.570
2536	0.640	2544	0.604	2552	0.560
2537	0.633	2545	0.587	2553	0.551
2538	0.609	2546	0.573	2554	0.530
2539	0.648	2547	0.581	2555	0.529
2540	0.656	2548	0.571	2556	0.532
2541	0.636	2549	0.571	2557	0.532
2542	0.646	2550	0.571	2558	0.509

(ที่มา : รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2559 : หน้า 292)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แนวทางผลิตภัณฑ์เพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ

บรรดาผู้เชี่ยวชาญด้านสภาพภูมิอากาศต่างเห็นพ้องกันว่า ปัญหาโลกร้อนสามารถแก้ไขได้ วิธีที่น่าจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ กำจัดก๊าซเรือนกระจก พร้อมกับ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ให้มากที่สุด โดยใช้ทุกวิถีทางที่เป็นไปได้ เช่น การใช้พลังงานทางเลือกที่สะอาด การเปลี่ยนเทคโนโลยีผลิตในภาคอุตสาหกรรมที่ช่วยลดการปล่อยก๊าซ ความร่วมมือของคนในสังคมลดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ และการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ลดการปล่อยก๊าซ เป็นต้น แนวทางเหล่านี้ทำให้มีการสร้าง สังคมคาร์บอนต่ำ ขึ้นมา เพื่อให้เราทุกคนได้มีส่วนร่วมในการรักษ์โลกร่วมกัน

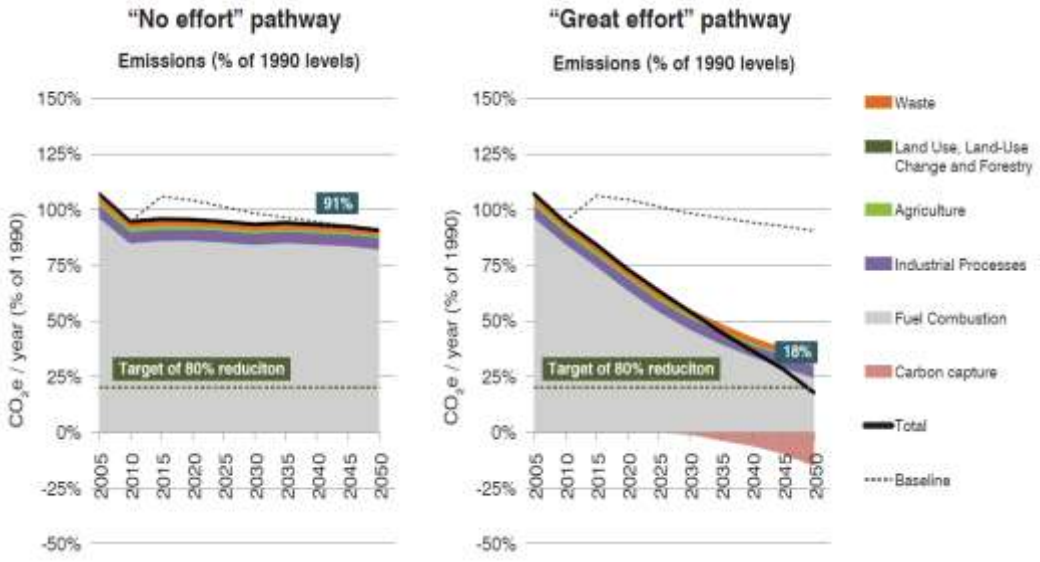
สังคมคาร์บอนต่ำ มีแนวคิดหลักสำคัญ 3 ประการ(วารสารนโยบายพลังงาน(88), 2553 : หน้า 60) คือ (1) ใช้วิธีการลดคาร์บอนให้ต่ำสุด (Carbon Minimization) คือ สังคมที่สามารถจะใช้กระบวนการต่างๆ เพื่อให้ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จริง (2) ใช้วิธีง่ายกว่าและมีรายได้ (Simpler and Richer) คือ สังคมที่สามารถใช้วิธีการง่ายๆ ในชีวิตประจำวัน เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยจะมีการทำอย่างสมัครใจ และยังสามารถลดรายจ่ายเพิ่มรายได้จากกระบวนการดังกล่าวด้วย (3) ใช้วิธีอยู่ร่วมกับธรรมชาติ (Co-Existing with Nature) คือ สังคมที่ใช้กระบวนการปรับตัวเข้าหาธรรมชาติ เพื่อให้สามารถรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

มีคำที่เกี่ยวของกันกับสังคมคาร์บอนต่ำ แต่มีความหมายแตกต่างกัน คือ เศรษฐกิจคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Economy) และเมืองคารบอนต่ำ (Low Carbon City) ซึ่งสามารถสรุปใจความสำคัญได ดังนี้ (1) เศรษฐกิจคารบอนต่ำ จะมุ่งเนนการใช้กลไกทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อนำเทคโนโลยีสะอาด เข้ามาชวยลดการปลอยกาซเรือนกระจก ใชกันมากในกลุมประเทศที่พัฒนาแลว โดยเนนเทคโนโลยีที่จะเขามาเปลี่ยนแปลงเพื่อลดกาซเรือนกระจก (2) เมืองคารบอนต่ำ จะเปนการบริหารจัดการ โดยการใชพื้นที่เปนหลัก (Area-Based) มุงไปที่เมืองซึ่งมีเปาหมายลดการปลอยกาซเรือนกระจกจากฐานเดิม ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ (ส.การศึกษาเพื่อจัดการทรัพยากรฯ, 2558)

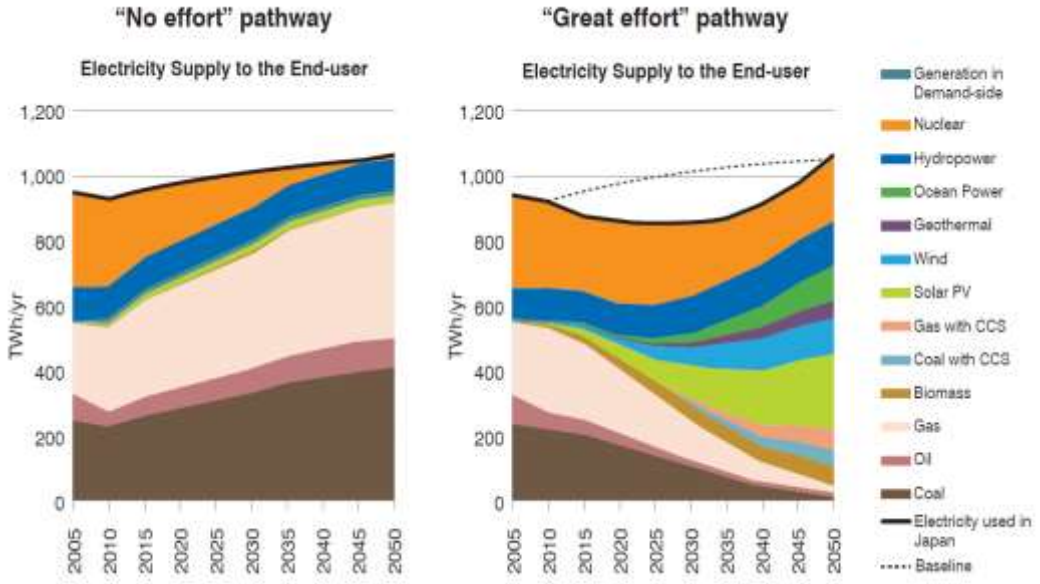
สำหรับกรณีศึกษาในการแก้ปัญหาโลกร้อน โดยใช้แนวทางสังคมคาร์บอนต่ำ นั่นคือ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีหลายกรณีศึกษา ในที่นี้ ได้ศึกษากรณีของญี่ปุ่น ซึ่งได้วางแผนระยะยาวเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เครื่องมือที่ใช้วางแผนระยะยาวให้บรรลุเป้าหมายสังคมคาร์บอนต่ำในปี ค.ศ.2050 ของญี่ปุ่น โดยจำลองแผนภาพอนาคต (IGES, 2012) คือ Japan 2050 Low Carbon Navigator เครื่องมือนี้ปรับระดับการใช้เป็น 5 ระดับ คือ ระดับ 1 ไม่พยายาม (No Efforts) นั่นคือ ใช้พลังงานในรูปแบบเดิม ใช้เทคโนโลยีเดิม ไม่เปลี่ยนแปลงการใช้ของผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นมาจนถึง ระดับ 4 คือ ใช้ความพยายามอย่างมาก (Great Efforts) นั่นคือ การเพิ่มพลังงานหมุนเวียน ใช้เทคโนโลยีทันสมัย และลดความต้องการใช้พลังงานของผู้ใช้ ระดับ 5 คือ ขีดจำกัดทางกายภาพและศักยภาพทางเทคโนโลยี จากการตั้งเป้าหมายลดการปล่อยก๊าซ 80% ในปี 2050 ได้ผลการศึกษาดังในรูปที่ 2.4.5 จะเห็นว่าถ้ายังใช้เทคโนโลยีเดิมไม่เปลี่ยนแปลง จากระดับเดิม ในปี

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1990 เป็น 100 % จะยังคงเป็น 91 % ในปี 2050 นั้นคือ ลดการปล่อยก๊าซได้ราว 9% เท่านั้น แต่ถ้าใช้ความพยายามอย่างมาก สามารถลดเหลือราว 18 % ในปี 2050 นั้นคือ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้ถึง 82 % จากค่าเดิมในปี 1990



รูปที่ 2.4.5 เป้าหมายลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลง 80 % ในปี 2050 ของญี่ปุ่น
(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.iges.or.jp , 2015)



รูปที่ 2.4.6 สัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้าของญี่ปุ่นเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(ที่มา : เว็บไซต์ http://www.iges.or.jp , 2015)

จากผลกรณีศึกษาของญี่ปุ่น ดังในรูป 2.4.6 เฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเพื่อให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามเป้าหมาย ต้องเปลี่ยนสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ผลิตไฟฟ้า นั่นคือ ลดการใช้น้ำมัน ก๊าซ และถ่านหินลงแทบหมดสิ้นในปี 2050 แล้วเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานหมุนเวียนหลากหลายชนิดทั้งพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานคลื่น และพลังงานใต้ภิภพให้เป็นพลังงานส่วนใหญ่ของการผลิตไฟฟ้า ในปี 2050 ที่สำคัญประการหนึ่ง คือ พลังงานนิวเคลียร์ซึ่งเดิมมีเป้าหมายจะยกเลิก จะยังคงใช้พลังงานนิวเคลียร์ต่อไปอีก ทั้งนี้เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 80 % ในปี 2050

ดังนั้นแนวทางผลิตภัณฑ์เพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ จึงสรุปแนวคิดได้ว่า ในกรณีแนวคิดทางธุรกิจและแนวคิดทางวิศวกรรม จะเห็นว่ามีขั้นตอนเริ่มต้นจาก ความต้องการหรือปัญหา และขั้นตอนสุดท้ายคือ ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ายอมรับ เหมือนกัน แต่กระบวนการแตกต่างกันมาก โดยในกระบวนการของแนวคิดทางธุรกิจ จะเป็นการคัดกรองข้อมูลและกำหนดโจทย์ จากสิ่งที่ลูกค้าให้ความสำคัญหรือพฤติกรรมซื้อสินค้าของลูกค้า การสร้างสรรค์ไอเดียเพื่อตอบโจทย์ลูกค้า พัฒนาสินค้าเพื่อตอบความต้องการของลูกค้า การสร้างต้นแบบหรือสินค้าจำลอง เพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่ลูกค้าสามารถเข้าใจหรือจับต้องได้ จะเห็นว่าในกระบวนการเป็นการวิเคราะห์ลูกค้าละเอียด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองลูกค้าได้มากสุด สามารถจัดจำหน่ายได้ในตลาด แต่ในกระบวนการของแนวคิดทางวิศวกรรม จะเป็นการพัฒนาข้อกำหนด ให้มีวัตถุประสงค์และสิ่งที่วัดได้ สร้างแนวคิดในการออกแบบ ศึกษาตรวจสอบการออกแบบในแง่มุมที่เป็นไปได้ ออกแบบในลักษณะเป็นรูปร่างเป็นการออกแบบเบื้องต้น การออกแบบในรายละเอียด เป็นการกำหนดรายละเอียดให้สามารถสามารถสร้างได้ การสร้างต้นแบบและทดสอบ เพื่อให้ได้ต้นแบบที่สอดคล้องกับข้อกำหนด จะเห็นว่าในกระบวนการเป็นการออกแบบและวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ทำงานได้อย่างมีคุณภาพ ดังนั้นสำหรับแนวทางผลิตภัณฑ์จากแอลอีดีเพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ ในโครงการวิจัยนี้ จึงเลือกใช้แนวคิดทางวิศวกรรม ในการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ด้วยแอลอีดีเพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี