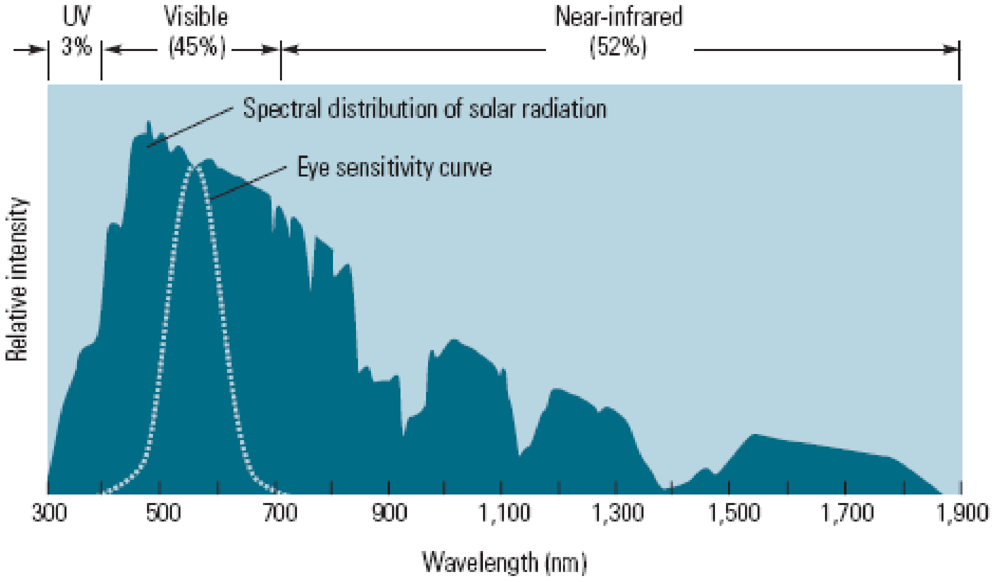
บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องที่วิจัย

การพัฒนาของกระจกหน้าต่างได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องทั้งรูปแบบและสีสันให้เหมาะต่อการใช้งาน โดยได้มีการใช้วัสดุใหม่ๆเข้ามาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด อย่างเช่นกระจกเดี่ยวนั้นได้ถูกแทนที่ด้วยกระจกสองชั้น สามชั้น และ แบบสี่ชั้น โดยมีการนำวัสดุฉนวนมาใช้ร่วมกันในการแบ่งแยกชั้นของกระจก นอกจากนั้นแล้วกาซเฉื่อย ยังคงได้ถูกนำมาเพิ่มใส่เข้าไปในระหว่างชั้นของกระจก เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน ยิ่งไปกว่านั้นเองตัวกระจกเองยังได้ถูกเคลือบด้วยสารที่มีความสามารถสะท้อนความร้อน ดังภาพประกอบ 12 เป็นตัวอย่างอาคารสำนักงานที่มีการใช้กระจกกรองแสงพลังงานจากดวงอาทิตย์ และยังสามารถปรับแต่งให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม

ภาพประกอบ 12 แสดงตัวอย่างอาคารสำนักงานที่มีการใช้กระจกกรองแสงเพื่อลดแสงสว่าง และป้องกันพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์

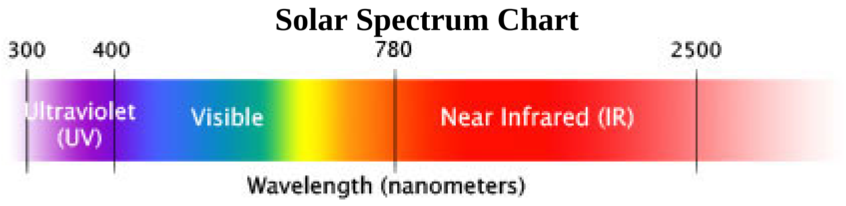
ในการออกแบบกระจกปรับความเข้มสีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงการแผ่รังสีความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยที่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์นั้นเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนอุณหภูมิประมาณ 5762 เคลวิน(K) โดยรังสีส่วนใหญ่จะมีความยาวคลื่น 0.3 ถึง 3.0 ไมโครเมตร โดยที่ส่วนหนึ่งเป็นรังสีความร้อน thermal radiation จะอยู่ในความยาวช่วงคลื่น 0.1 ถึง 1 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นสั้นและอีกส่วนเป็นการแผ่รังสีคลื่นยาวซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 3 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพประกอบ 13 เป็นความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ โดยที่ตาของมนุษย์จะสามารถมองเห็นได้ในช่วงความยาวคลื่น 0.380 ถึง 0.720 ไมโครเมตร ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังพื้นโลก(U. Fischer,2003:1299-1307) โดยที่ปริมาณของการแผ่รังสีนี้มีอยู่ สามเปอร์เซ็นต์ ที่อยู่ในย่านอุลตราไวโอเร็ต นอกเหนือจากนั้นเป็นความยาวใกล้ย่านอินฟาเร็ด ดังนั้นในการออกแบบกระจกหน้าต่างที่ดีจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้



ภาพประกอบ 13 ความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

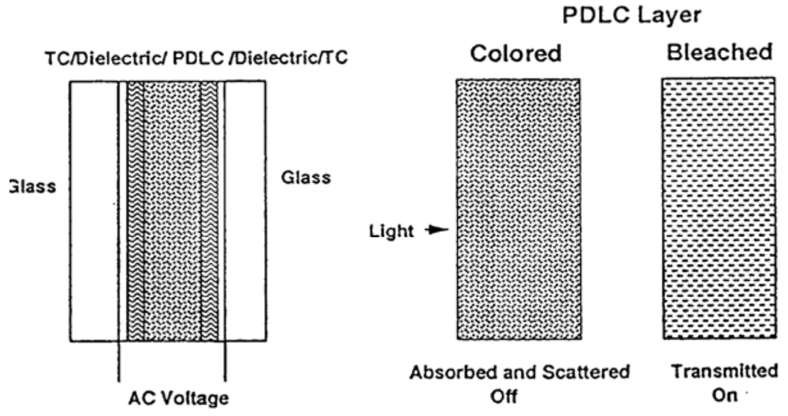
โดยที่เทคโนโลยีอิเล็กโครมิค Electrochromics (EC) ได้ถูกนำมาระยุกต์ใช้กับกระจกหน้าต่างตามบ้านเรือนและอาคารสำนักงาน โดยที่อาศัยคุณสมบัติของการปรับเปลี่ยนความเข้มสีได้ตามการจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาดต่ำๆซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยารีด็อกซ์ ของการอิเล็กโทรโครมิคที่เป็นสารประกอบโลหะออกไซด์และสารอิเล็กโทรไลท์ที่มีการแลกเปลี่ยนประจุอิเล็กตรอน โดยความเข้มสีของกระจกที่เพิ่มขึ้นจากแรงดันกระแสตรง และยังสามารถปรับลดความเข้มสีได้ด้วยการให้แรงดันในทิศทางกลับกัน อีกทั้งเมื่อนำแรงดันจากแหล่งจ่ายกระแสตรงออกความเข้มของสีก็ยังคงสภาพอยู่ได้เป็นเวลานาน จากผลดังกล่าวได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมระบบแสงสว่างภายในอาคาร และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร โดยในการใช้งานของกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคสามารถถูกนำมาใช้งานร่วมกันกับกระจกที่เคลือบสาร low-e และมีก๊าซเฉื่อยที่เป็นฉนวนร่วมกันเพื่อใช้ในการลดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคนี้จะมีความสามารถในการยอมให้แสงย่านความยาวคลื่นที่สูงกว่าย่านที่ตามองเห็นผ่านได้ในช่วง 0.50 ถึง 0.70

ไมโครเมตร และที่ความยาวคลื่นที่ต่ำกว่านี้ในช่วง 0.02 ถึง 0.25 ไมโครเมตร อีกทั้งมีค่าสัมประสิทธิในการมองเห็น อยู่ในช่วง 0.10 ถึง 0.50 ไมโครเมตร ดังภาพประกอบ 14 แสดงย่านความยาวคลื่นแสงของดวงอาทิตย์ โดยที่ระดับการส่งผ่านในการมองเห็นนั้นนั้นสามารถกระทำได้ค่อนข้างต่ำมาก(<0.001) ดังนั้นกระจกหน้าต่างชนิดนี้จึงสามารถสร้างความเป็นส่วนตัว และขจัดการรบกวนได้ดี นอกจากนี้ที่ระดับการส่งผ่านได้ในการมองเห็นหรือการยอมให้แสงผ่านได้นั้นจะสามารถกระทำได้ดี เพื่อให้แสงผ่านเข้าสู่ภายในอาคาร (Wienold J,2003:79110)

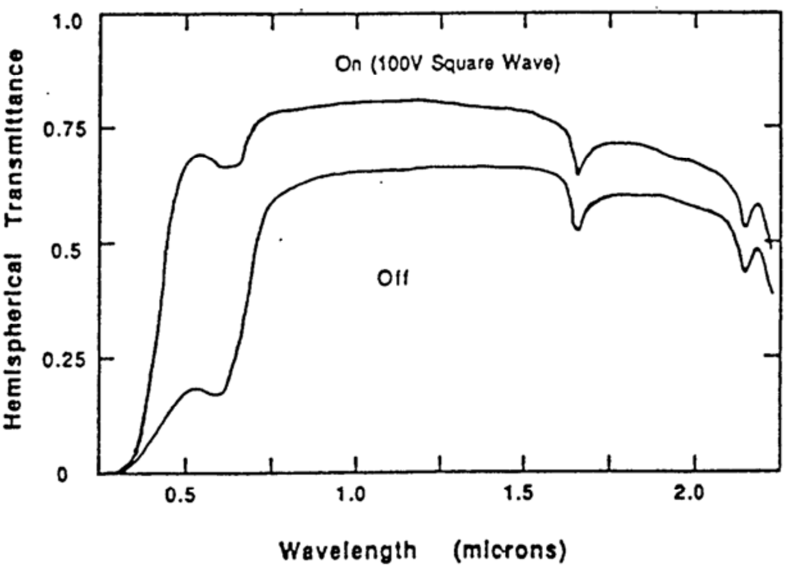


ภาพประกอบ 14 แผนภาพแสดงย่านความยาวคลื่นแสงของดวงอาทิตย์

เทคโนโลยีกระจกหน้าต่างปรับความเข้มสีจากกระจกแบบผลึกเหลว Liquid crystal(LC) หรือพวกกระจกแบบโพลิเมอร์ผลึกเหลว polymer-dispersed liquid crystal (PDLC) ที่สามารถปรับเปลี่ยนสถานะในการให้แสงผ่านได้ไปจนถึงการไม่ให้แสงผ่านเข้าสู่กระจก พบว่าการทำงานของกระจกทั้งสองชนิดนี้จะเปลี่ยนความเข้มสีจากสีขุ่นทึบไปจนถึงไม่มีสี ซึ่งจะอาศัยการให้แรงดันไบอัสกับผลึกเหลว ในการจัดการปรับการเรียงตัวของเนื้อวัสดุเพื่อให้แสงผ่านได้ ต่อเมื่อไม่ให้การไบอัสผลึกเหลวจะเรียงตัวไม่เป็นระเบียบทำให้แสงไม่สามารถผ่านได้ กระบวนการสร้างจะใช้กระจกที่เคลือบสารผลึกเหลว หรือสารโพลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของผลึกเหลวอยู่บนโลหะโปร่งแสง จากนั้นก็ทำการผสานขอบของกระจกทั้งสองชิ้น เพื่อป้องกันเนื้อสารภายในเสียสภาพจากการทำปฏิกิริยากับอากาศ และสิ่งปนเปื้อนดังแสดงในภาพประกอบ 15

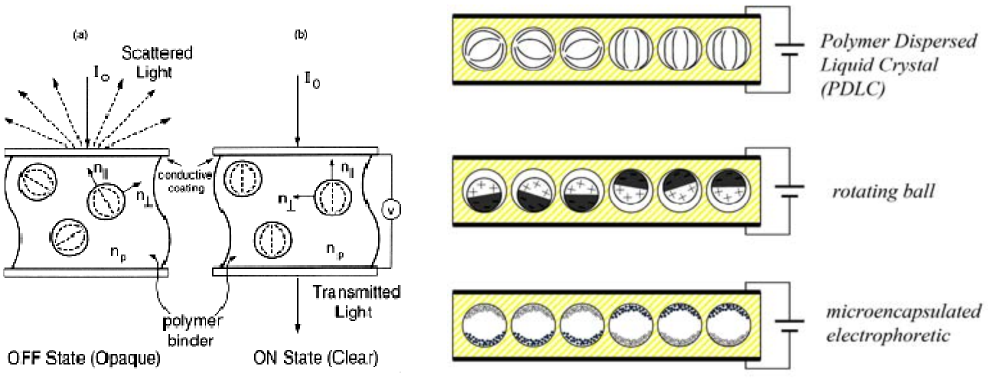


ภาพประกอบ 15 แผนภาพโครงสร้างกระจกที่เคลือบโพลิเมอร์ผลึกเหลว ในขณะที่ไม่ได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคผลึกเหลวจะแพร่กระจายไม่เป็นระเบียบอยู่ในสถานะปิดวงจรจะแสดงการเกิดสี และเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคผลึกเหลวจะจัดตัวเป็นระเบียบอยู่ในสถานะเปิดวงจรจะแสดงการไม่เกิดสี



ภาพประกอบ 16 แสดงการความสัมพันธ์ระหว่างสเปคตรัมการส่งผ่านในการมองเห็นกับความยาวคลื่น ของกระจกที่เคลือบโพลิเมอร์ผลึกเหลว เมื่อได้รับการจ่ายแรงดัน และไม่ได้รับกระแสสลับ (100 Va.c.)

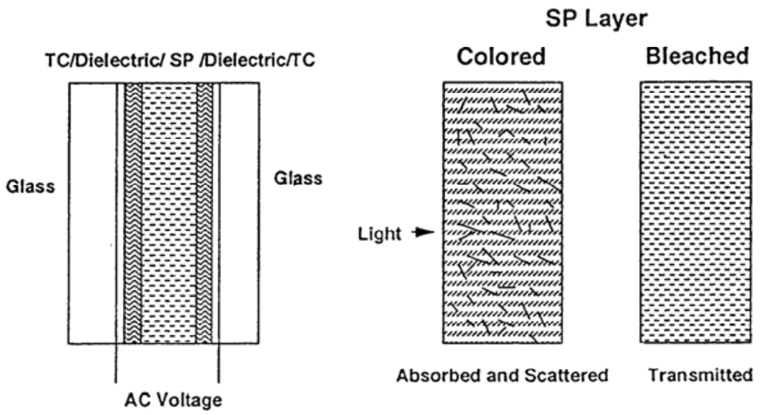
ในขณะที่ไม่ได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคผลึกเหลวจะแพร่กระจายไม่เป็นระเบียบ อยู่ในสถานะปิดวงจรจะแสดงการเกิดสี และได้รับการจ่ายแรงดันกับอนุภาคผลึกเหลว จะจัดตัวเป็นระเบียบอยู่ในสถานะเปิดวงจรจะแสดงการไม่เกิดสี เมื่อทดสอบสเปคตรัมการส่งผ่านในการมองเห็นกับความยาวคลื่น ดังในภาพประกอบ 16 ในขณะที่ได้รับการจ่ายแรงดัน และไม่ได้รับกระแสสลับ (100 Va.c.) พบว่าการลดรังสีอุลตราไวโอเลตนั้นทำได้ไม่ดีพอ ในการปรับเปลี่ยนสถานะการปรับความเข้มสีต้องใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับกระจกอยู่ตลอดเวลาทำให้สิ้นเปลืองกำลังงาน เมื่อผลึกเหลวนี้ไม่ได้รับการจ่ายแรงดันก้อนผลึก จะกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบซึ่งจะเป็นสถานะที่แสงจะไม่สามารถผ่านได้ โดยแสงที่พุ่งตรงมายังกระจกที่เคลือบสารผลึกเหลวจะกระเจิงออก ต่อเมื่อจ่ายแรงดันให้กับผลึกเหลวแล้วจะทำให้มีสนามไฟฟ้าอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองทำให้ก้อนผลึกเหลวจัดเรียงตัวขนานกันกับทิศทางของสนามไฟฟ้า โดยกลุ่มของอนุภาคผลึกจะมีการหมุนปรับตัวเข้าหาขั้วสนามไฟฟ้า ในสถานะนี้เมื่อแสงตกกระทบยังกระจกผลึกเหลวจะทำให้แสงสามารถผ่านทะลุเข้าสู่กระจกได้ ดังภาพประกอบ 17 เทคโนโลยีของกระจกแบบนี้จะถูกประยุกต์ใช้ตกแต่งภายในอาคารหรือห้องที่ต้องการความสวยงาม หรือความเป็นส่วนตัว แต่สำหรับการประยุกต์ใช้งานที่เกี่ยวกับกระจกหน้าต่างเพื่อป้องกันรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์จะไม่สามารถกระทำได้ เป็นผลจากการที่กระจกประเภทนี้ไม่สามารถควบคุมความเข้มสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งขาดคุณสมบัติในการมองเห็นที่ดี อันเนื่องจากการที่กระจกหน้าต่างนี้ต้องการแรงดัน หรือกำลังงานคงที่ตลอดเวลา เพื่อให้แสงผ่านได้ดังนั้นกระจกหน้าต่างประเภทนี้จึงไม่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานใดๆเลย



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 17 (ก)โครงสร้างกระจกที่เคลือบโพลิเมอร์ผลึกเหลว ในขณะที่ไม่ได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคผลึกเหลวแพร่กระจายไม่เป็นระเบียบแสงไม่สามารถผ่านเข้าสู่กระจกได้จะเกิดการกระเจิงของแสงออกไป และ (ข)เมื่อได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคผลึกเหลวเป็นจะจัดตัวเป็นระเบียบแสงสามารถผ่านทะลุระหว่างช่องว่างของผลึกได้

สำหรับกระจกหน้าต่างที่สร้างจากกระจกแผ่นเรียบที่เคลือบสาร Suspended particle devices ที่เป็นสารออร์กานิค (organic) ของอนุภาคสารแขวนลอยที่มีประจุไอออนบวกและลบของสารประกอบโพลีไอโอไดด์ ซึ่งมีกระบวนการสร้างเช่นเดียวกับการสร้างกระจกที่เคลือบสารผลึกเหลว ในขณะที่ทำการจ่ายแรงดันกระแสสลับขนาดสูง ให้กับกระจกจะทำให้มีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น และอนุภาคสารแขวนลอยนี้จะจัดเรียงตัวขนานกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งจะสามารถปรับเข้าสู่สถานะการมองเห็นได้ และจะปรับสภาพการมองเห็นที่ลดลงเมื่อหยุดจ่ายแรงดันโดยผลึกจะมีการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของผลึกเป็นสีเข้มทึบแสงดังแสดงในภาพประกอบ 18 และ 19 โดยที่ช่วงระยะค่าการส่งผ่านในการมองเห็นนี้จะอยู่ที่ 6-75 เปอร์เซ็นต์เมื่อไม่มีสี และที่ 0.1-30 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่มีสี โดยที่มีความเร็วของการสวิทซ์ชิ่ง ที่ 100-200 มิลลิวินาทีแรงดันกระแสไฟฟ้าสลับที่จ่ายให้กับกระจกนี้จะขึ้นอยู่กับความหนา และขนาดของกระจก โดยมีการจ่ายแรงดันกระแสสลับในช่วง 0-20 โวลท์ จนถึง 150 โวลท์



ภาพประกอบ 18 โครงสร้างกระจกที่เคลือบสาร Suspended Particle Devices ที่เป็นสารออร์การ์นิค (organic)ของอนุภาคสารแขวนลอย

(ก)

(ข)

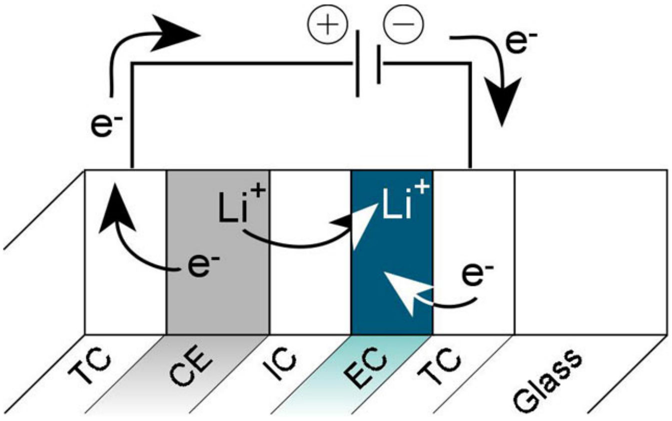
ภาพประกอบ 19 ภาพกระจกที่เคลือบสาร Suspended Particle Devices (ก) ในขณะที่ไม่ได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคจะแพร่กระจายไม่เป็นระเบียบอยู่ในสถานะปิดวงจรจะแสดงการเกิดสี off condition (highly absorbing) และ (ข) ได้รับการจ่ายแรงดันอนุภาคเป็นจะจัดตัวเป็นระเบียบอยู่ในสถานะเปิดวงจรจะแสดงการไม่เกิดสี Fully on condition (less absorbing)

ทฤษฎีที่รองรับเรื่องที่วิจัย

การพัฒนาวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก จากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าเมื่อได้รับการจ่ายแรงดันทำให้สามารถปรับความเข้มของสีบนกระจก (Y. Domori, T. Lukaszewicz,2005:1-6) โดยที่มีนักวิทยาศาตร์ได้ตีพิมพ์ผลงานเผลแพร่เป็นจำนวนมาก และการจดสิทธิบัติกันอยู่ในเวลานี้ ในงานวิจัยที่มีขึ้นทุกวันนี้เป็นผลอันเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจากวัสดุที่ใช้เคลือบบนกระจกทำให้เกิดปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า เพื่อปรับความเข้มของสีในการลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากธรรมชาติ โดยที่ประโยชน์อย่างแรกที่ได้รับนั้นจากวัสดุที่เคลือบบนกระจกโปร่งแสงทำให้เกิดปฏิกริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติความในการควบคุมการให้แสงผ่านกระจก โดยเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก นี้สามารถที่จะทำการปรับลดแสงสว่างและควบคุมความร้อนในเวลากลางวัน อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นอุปกรณ์ฉนวนป้องกันความเย็นในเวลากลางคืนได้ จากการศึกษาอย่างกว้างขวางนั้นพบว่าการปรับความเข้มอ่อนของสีบนกระจก ตามหลักเคมีไฟฟ้าจากการให้แรงดันกับกระจกปรับความเข้มสี เป็นผลทางต่อการประหยัดพลังงานที่มากกว่ากระจกกรองแสงแบบคงที่ ดังนั้นเองเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิก สามารถสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดตลอดทั้งวันได้อย่างแน่นอน โดยแนวความคิดพิเศษอย่างหนึ่งด้วยการใช้การเคลือบสารลงบนกระจกในการปรับความเข้มของสีด้วยหลักเคมีไฟฟ้า

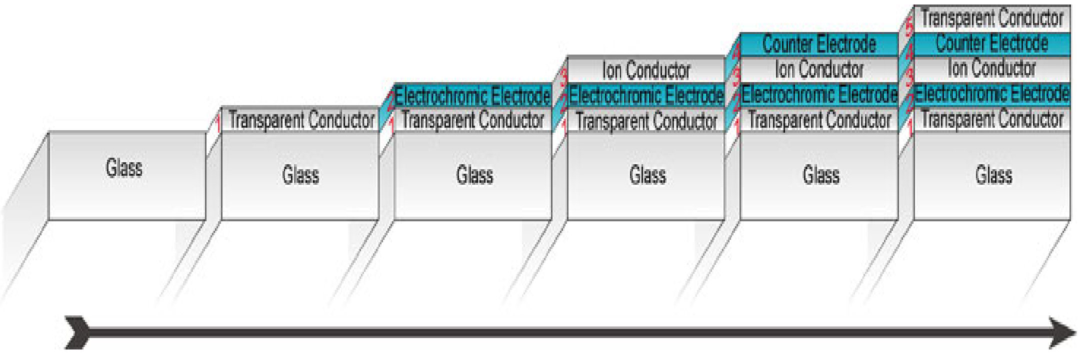
จากโครงสร้างการทำงานของสารอิเล็กโทรโครมิค ที่ทำการออกแบบชั้นสารต่างๆที่เคลือบลงบนกระจกที่แยกเป็นชั้นตัวนำโปร่งแสง (Transparent Conductor: TC) ที่ซ้อนอยู่ในแนวตั้งขนานกัน ซึ่งมีชั้นของสารวัสดุอิเล็กโทรโครมิค โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารทังสเตนออกไซด์ ชั้นสะสมการนำประจุ (Ion Counter) และชั้น counter electrode (CE) โดยชั้นของโลหะโปร่งแสงนั้นจะเป็นชั้นที่มีการต่อสายตัวนำไฟฟ้าเพื่อใช้ในการ

จ่ายแรงดันกระแสตรง จากโครงสร้างดังกล่าวแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีในชั้นของอิเล็กโทรโครมิค เมื่อมีการให้ศักดาแรงดันบวกที่ติดกับส่วนของ counter electrode และ ศักย์ดาแรงดันลบเข้าที่ขั้วไฟฟ้าที่ชั้นโลหะโปร่งแสง จะทำให้ลิเทียมอิออน LI^{+} เคลื่อนที่ผ่านชั้นสะสมการนำประจุ (IC) และแทรกเข้าไปอยู่ในชั้นของอิเล็กโทรโครมิค ในขณะที่การชดเชยของประจุอิเล็กตรอนนั้นจะถูกแยกออกจากชั้น counter electrode ไหลออกสู่วงจรภายนอก และไหลกลับเข้าสู่ชั้นของอิเล็กโทรโครมิค อีกครั้งดังแสดงในภาพประกอบ 20 ในแต่ละชั้นของวัสดุที่เคลือบลงไปนั้นจะเป็นวัสดุที่โปร่งแสงทั้งสิ้น



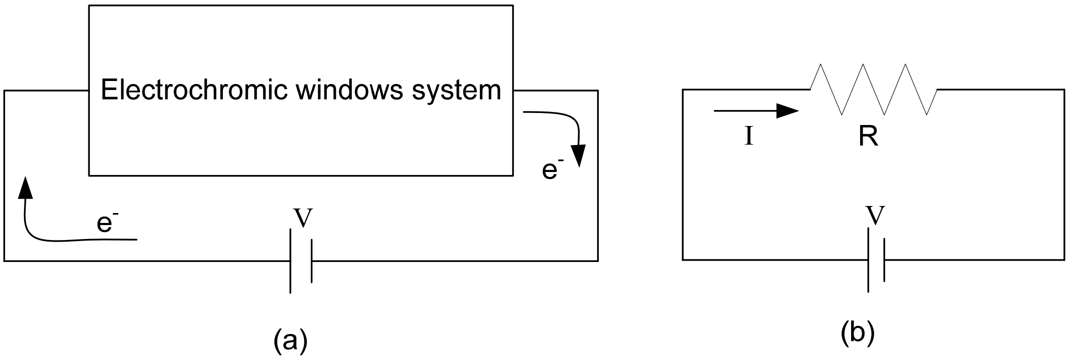
ภาพประกอบ 20 แสดงการทำงานในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนของลิเทียมอิออนไปยังชั้นของอิเล็กโทรโครมิคไหลผ่านเข้าสู่แหล่งจ่ายแรงดันวงจรภายนอก

เทคโนโลยีการสร้างกระจกปรับแสงอิเล็กโทรโครมิคสามารถอธิบายได้อย่างง่ายๆดังนี้ โดยการใช้กระจกแผ่นเรียบทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งของโลหะออกไซด์ (Transparent Conductor) จากนั้นจะเป็นชั้นของขั้วสารวัสดุอิเล็กโทรโครมิคโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารทังสเตนออกไซด์ จากนั้นจะเป็นชั้นสะสมการนำประจุ Ion Conductor(IC) หรือชั้นของอิเล็กโทรไลท์ ที่มีอิออนสำหรับการนำไฟฟ้า 10^{-3}-10^{-6}s cm^{-1} ประจุอิออนที่สะสมอยู่นี้จะถูกใช้ในการกำเนิดสีโดยจะให้ประจุโปรตอนจากธาตุ Hydroxyl ions(H^{+}) หรือ Lithium ions(Li^{+})ในปัจจุบัน จะใช้สารจำพวก Solid electrolyte คือเป็นสารของแข็งอิเล็กโทรไลท์ ที่สามารถทำการเคลือบเป็นฟิล์มได้และชั้น counter electrode ซึ่งเป็นชั้นของอิเล็กโทรโครมิคเช่นเดียวกัน (M. Vasilopoulou,2005:329-332) โดยที่ขั้วด้านหนึ่งจะเป็นขั้วแอโนด และอีกด้านหนึ่งจะเป็นคาโทด ในทางอุดมคตินั้นจะมีการเกิดสีและการจางหายไปของสีทั้งสองด้าน ดังนั้นจากแนวความคิดนี้ได้มีการปรับใช้ใช้อิเล็กโทรโครมิคสามารถเพิ่มความหนาแน่นของสีได้มากกว่าแบบหนึ่งชั้น ในการออกแบบลักษณะการใช้งานนี้ได้ออกแบบให้สารอิเล็กโทรโครมิคที่เคลือบอยู่ทั้งสองด้านมีความแตกต่างกัน นั้นในการเคลือบฟิล์มนี้จะกำหนดให้มีความหนาของชั้นสารน้อยกว่า 1/50 เท่าของเส้นผมมนุษย์ในสภาวะสูญญากาศ ดังแสดงในภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 แสดงโครงสร้างของกระบวนการสร้างกระจกอิเล็กโทรโครมิคโดยแยกการเคลือบสารวัสดุด้วยกระบวนการสร้างแยกออกเป็นชั้นต่างๆ

กระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคมีความต้องการใช้กำลังงานไฟฟ้าขนาดต่ำ โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดต่ำคงที่ เพื่อใช้ในการปรับเปลี่ยนสถานะของความเข้มสีให้คงอยู่เสมอ หรือการทำให้ความเข้มสีลดลง สารประกอบโลหะออกไซด์และสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ที่ใช้สร้างกระจกอิเล็กโทรโครมิคจะมีการเรียงซ้อนทับกัน เมื่อมีการให้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ระดับของการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีมีความแตกต่างกัน อีกทั้งเมื่อนำแรงดันไฟฟ้าออกจากวงจรกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิค ยังคงรักษาระดับของความเข้มสี หรือเมื่อให้แรงดันกระแสตรงแบบย้อนกลับ ออกจะสามารถเปลี่ยนความเข้มสีให้จางหายไปได้ (J.P. Cronin,1999:1-9) จากโครงสร้างของกระจกโปร่งแสงอิเล็กโทรโครมิคที่ที่เป็นวงจรเสมือนที่แสเงในรูที่ 22



ภาพประกอบ 22 แสดงวงจรเสมือนของกระจกไฟฟ้าอิเล็กโทรโครมิค

เมื่อพิจารณาจากกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคนั้นก็เปรียบเสมือนวงจรทางไฟฟ้า ที่ตัวกระจกนั้นมีการเคลือบสารอิเล็กโทรโครมิคไว้ ดังนั้นจึงต้องมีความต้านทานซึ่งขึ้นกับขนาดของพื้นที่หน้าตัดของกระจกดังความสัมพันธ์ของความต้านทานนี้

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (1)$$

โดยที่ ρ คือสภาพความต้านทางของเนื้อสาร

l คือความกว้างของแผ่นกระจก

A คือพื้นที่ของเนื้อสารอิเล็กโทรโครมิค

จากสมการตามกฎของโอห์ม แสดงได้ดังนี้

$V = IR$ และกำลังงาน (Power) $P = IV$

I คือ กระแส

R คือ ความต้านทานของเนื้อสาร

V คือ แรงดันกระแสตรง

เมื่อพิจารณาจากสมการความสัมพันธ์ข้างต้นจะพบว่า

$$P = \left(\frac{V}{R}\right)^2 \left(\rho \frac{l}{A}\right) \quad (2)$$

ดังนั้นจากตัวแปรทั้งหมดนี้กำลังงานที่กระจกอิเล็กโทรโครมิคต้องการจะขึ้นกับขนาดของพื้นที่กระจกที่เคลือบฟิล์มของสารอิเล็กโทรโครมิค ในขณะเริ่มต้นที่ไม่มีการให้แรงดันไฟฟ้ากับกระจกโปร่งแสงอิเล็กโทรโครมิคพบว่าระดับของความเข้มสีที่เกิดขึ้นอยู่ในสถานะที่ไม่มีการทำงานของปฏิกิริยา

การเปล่งสีต้องการความหนาเพียงครึ่งเดียวที่ทำให้แสงผ่านเข้าสู่ด้านใน ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าหรือการแลกเปลี่ยนอิออนในปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าระหว่างสารอิเล็กโตไลติค กับสารที่ให้สีจากสารประกอบอกไซด์ ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วมากในขั้นตอนของระบบการทำงานให้แสงผ่านยังตัวอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ที่ปรับความเข้มสี จากปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าจะมีการทำงานด้วยการให้แรงดันย้อนกลับจะพบว่าประจุอิออนจะไหลกลับในทิศทางตรงกันข้าม ออกจากส่วนเนื้อสารที่จะมีการเปลี่ยนสี ไปยังส่วนของชั้นที่มีการนำประจุนั่นคือชั้นของอิเล็กโตไลท์ และกลับเข้าสู่ชั้นที่เก็บประจุอิออน(J. Stefan,1987:1554-1556)

การใช้แรงดันไฟฟ้าในการควบคุมการเกิดปฏิกริยาไฟฟ้า ทำให้สามารถปรับความเข้มของสีในเนื้อสารอิเล็กโตโครมิกที่เคลือบบนกระจกที่ขั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง ดังนั้นการปรับความเข้มสีสามารถกระทำได้ด้วยการให้แรงดันย้อนกลับ จากสารอิเล็กโทรโครมิกที่เคลือบอยู่บนกระจกโปร่งแสงโดยในภาพประกอบ 23 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิก และคุณสมบัติการส่งผ่านของแสงที่เข้าสู่อุปกรณ์ชนิดนี้สิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิก ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเพื่อการประยุกต์ใช้เกี่ยวกับจอแสดงผล และอย่างอื่นที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากเวลาของการเปลี่ยนสถานะ switching time นั้นค่อนข้างต่ำ(U. Fischer,2003:1299-1307) โดยปฏิกริยาเคมีในการแทนที่ของประจุอิออนจากสมการรีด็อกซ์สามารถแสดงได้ดังนี้

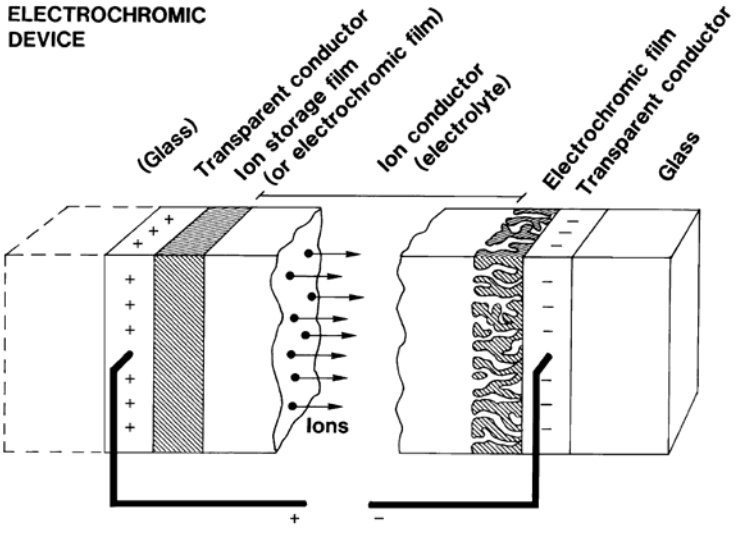
$$WO_3 + xM^+ + xe^- \leftrightarrow M_xWO_3$$

ซึ่งประกอบด้วย $M^+ = H^+$, Li^+, Na^+ หรือ K^+ และ อิออนลบ e^- เข้าไปแทนที่อิเล็กตรอน โดยในแต่ละธาตุของสารเคมีที่เป็นอิเล็กโทรโคมิ กับสารอิเล็กโทรไลต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงธาตุที่จะเกิดปฏิกริยาเป็นเซลอิเล็กโทรโครมิด

Electrochromic device structures

Electrochromic	IC/electrolyte	Ion storage	Maker	Application
Proton Systems				
Viologen	PMMA + organic	None	Gentex	Auto mirrors
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	NiO	Donnelly	Auto/truck mirrors
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	$Ir_xSn_yO_2$:F	Nikon	Auto mirrors
a-H_xWO_3	SiO_2/metal	WO_3	Schott	Auto mirrors
a-H_xWO_3	Polymer	Polyaniline	Toyota	Auto glazing
a-H_xWO_3	Polymer	Polyaniline	Dornier	Aircraft glazing
a-H_xWO_3	Poly-AMPS	Cu Grid	PPG	Aircraft glazing
a-H_xWO_3	Ta_2O_5	a-IrO_2	EIC	Spacecraft glazing
a-H_xWO_3	MgF_2	Gold film	NREL	Building glazing
a-H_xWO_3:Mo	a-PEO copolymer	NiO	LBL	Building glazing
NiO	a-PEO copolymer	Nb_2O_5	LBL	Building glazing
Lithium systems				
a-Li_xWO_3	modified a-PEO	Ion storage polymer	LBL	Building glazing
a-Li_xWO_3	$LiClO_4$ + PC	Prussian blue	Nissan	Auto glazing
a-Li_xWO_3	$LiClO_4$ + PC	Redox couple	Asahi	Building glazing
a-Li_xWO_3	Li-PEO	CeO_x	St. Gobain	Auto glazing
a-Li_xWO_3	Li-B-SiO glass	IC/$Li_xV_2O_5$	EIC	Building glazing
a-Li_xWO_3	PPG-$LiClO_4$-MMA	$Li_yV_2O_5$	Chalmers U.	Building glazing
a-Li_xWO_3	Li-PEO	NiO	St. Gobain	Auto glazing



ภาพประกอบ 23 โครงสร้างพื้นฐานของอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์อิเล็กโทรโครมิค

คุณสมบัติการเปลี่ยนความเข้มของสีของกระจกที่เคลือบสารอิเล็กโทรโครมิค จากธาตุทังสเตนออกไซด์จากการสร้างชั้นสารของฟิล์มอิเล็กโทรโครมิก ที่เคลือบอยู่บนกระจกโปร่งแสงฟิล์มโลหะ เช่น

Indium Tin Oxide และมีสารอิเล็กโตรไลท์แทรกอยู่ระหว่างฟิล์มอิเล็กโทรโครมิก ซึ่งจะเป็นชั้นที่มีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างกัน โดยเป็นโครงสร้างที่ซ้อนทับกันอยู่บนชั้นฟิล์มตัวนำโปร่งแสง นอกจากนี้การสวิตซ์ของกระแสด้านย้อนกลับ และด้านตรงนั้นที่ผ่านเข้าสู่ตัวนำด้านนอกนั้นเป็นเหตุให้ประจุอิออนไหลผ่านเข้าสู่ส่วนกลางของอิเล็กโทรไลท์ ดังนั้นประจุจะเพิ่มขึ้น หรือลดลง เมื่อเกิดปฏิกริยาเคมีไฟฟ้าในเนื้อสารของวัสดุอิเล็กโทรโคมิก ซึ่งจะทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนความเข้มของสีบนกระจกได้โดยสมบัติทางด้านแสง นั้นจะมีทั้งการสะท้อนและการส่องผ่าน ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยการตอบสนองทางแสงด้วยการให้แรงดันไบอัสตรงและย้อนกลับ การยอมให้แสงผ่านได้นั้นของสารอิเล็กโทรโครมิกที่เคลือบบนกระจกที่ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงนั้นจะมียอมให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.380 ไมโครเมตร จนถึง 0.78 ไมโครเมตร ผ่านได้ จากการให้แรงดันย้อนกลับ นอกจากนั้นความเร็วของการสวิตซ์ในการปรับความเข้มสีสูงสุด และการจางหายของสีอยู่ในช่วง 30 วินาที จนถึง 5-10 นาที (Hulya Demiryyont,1992:250-254)

ผลการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยในขณะนี้นักออกแบบได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยองค์ประกอบต่างๆ ของกระจกหน้าต่างชนิดนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมสูงสุดต่อการใช้งานกับอาคารพาณิชย์ต่างๆ เพื่อลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างเช่นสารที่เคลือบเป็นฟิล์มนั้นจะต้องมีความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อน อีกทั้งการลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพื่อใช้ทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ โดยการลดขนาดของเครื่องจัก และอุปกรณ์ต่างๆ และจะต้องมีความสามารถให้แสงผ่านได้เพื่อการมองเห็น โดยปราศจากการกีดขวางกันของม่านกันแสง จากการศึกษาด้านวัสดุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการเคลือบสารโครมาจินิค บนกระจกที่มีพื้นที่เพียง 0.25 ตารางฟุต จากการพัฒนาภายในห้องปฏิบัติการไปสู่กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมที่สามารถสร้างฟิล์มวัสดุโครมาจินิค (Chromaginic) บนกระจกขนาด 11-22 ตารางฟุต โดยมุ่งเน้นไปทางด้านการประยุกต์ใช้งานเพื่อตอบสนองต่อความต้องการให้กับผู้ใช้ เพื่อให้เกิดการยอมรับกับการเปลี่ยนเข้าสู่ยุคใหม่แห่งการพัฒนาเพื่อเทคโนโลยีในอนาคต ดังนั้นจากการทดสอบความสามารถต่างๆทางด้านวิศวกรรมในการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า และการลดลงของค่าใช้จ่ายเพื่อการมุ่งเน้นก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานและลดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิค ได้ถูกนำมาใช้งานทดแทนกระจกที่ใช้เทคโนโลยีแบบการเคลือบสาร Low-E หรือกระจกกรองแสงอื่นๆทั่วไป เนื่องจากการที่คุณสมบัติของวัสดุชนิดนี้จะแสดงพฤติกรรมทางไฟฟ้า เมื่ออยู่ภายใต้การกระทำของพลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยผลของข้อมูลที่ได้รับนั้นสร้างจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การปรับเปลี่ยนระบบการควบคุมต่างๆให้เหมาะสมและการตอบสนองถึงคุณสมบัติของเทคโนโลยีนี้นำมาจากการทดสอบในภาคสนาม ที่เป็นการทดสอบการควบคุมการทำงานของกระจกหน้าต่างอย่างอัตโนมัติกับอาคารสิ่งปลูกสร้างเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพพลังงานสูงสุด (A. Roos)

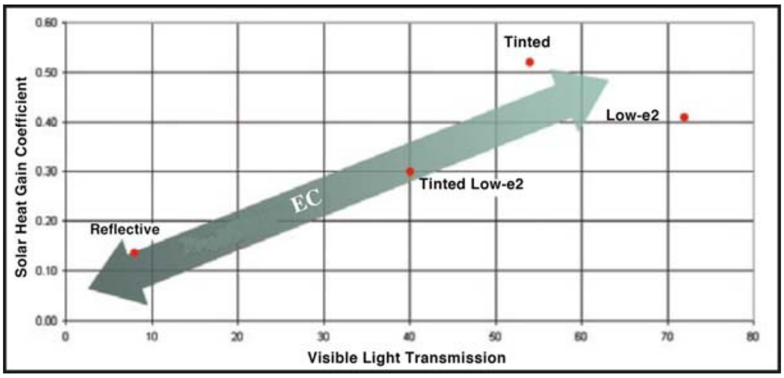
ในการผลิตกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคมีความต้องการผลิตกระจกให้มีขนาดพื้นที่ใหญ่ขึ้น เพื่อตอบสนองต่อการใช้งานกับอาคารสิ่งปลูกสร้าง และการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการจัดระบบควบคุมแสง

สว่าง ซึ่งจากการศึกษาถึงคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆของกระจกอิเล็กโทรโครมิค จะพิจารณาถึงช่วงเวลา (Delay time) และความเร็วของการเปลี่ยนสถานะความเข้มสี (Switching time) ในการเปลี่ยนสถานะเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสม และการใช้พลังงานแสงสว่าง รวมถึงการควบคุมแสงสว่างที่ผ่านเข้าสู่กระจก จากการใช้หน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคซึ่งมีการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสี ด้วยการปรับสถานะช่วงเวลา และความเร็วของการสวิทซ์ซิ่ง(Switching)จากที่ไม่มีสีกับมีสี พบว่าจะสามารถผลิตออกสู่ท้องตลาดในเชิงพาณิชย์ได้โดยสามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ ซึ่งอยู่ในรูปของปริมาณของพลังงาน และที่ไม่ใช่พลังงาน ซึ่งจะเป็นผลดีต่อกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคอย่างอัตโนมัติ(Cal M. Lampert,1994:307-321) โดยที่ข้อมูลของปริมาณความเข้มสีของกระจกอิเล็กโทรโครมิคสามารถนำไปใช้กับการควบคุมระบบแสงสว่าง (เมื่อแสงสว่างลดลงการปรับความสว่างก็เพิ่มขึ้น) ด้วยการควบคุมจากการเปิดและปิดแหล่งจ่ายแรงดันเพื่อควบคุมการให้ความเข้มสีเปลี่ยนตามความต้องการของผู้ใช้งานดังรายละเอียดดังนี้

- แสดงถึงความสามารถในการเห็นทัศนีย์ภาพทางด้านภายนอกได้ดีอย่างมาก
- ไม่จำเป็นที่จะติดตั้งม่านกันแสงและอุปกรณ์ลดแสงอื่นใดแสงอาทิตย์
- แสดงถึงความสามารถในการประหยัดพลังงานในกรณีที่หน้าต่างมีขนาดที่เหมาะสม และการควบคุมที่ได้รับกาดูแลดีพอ
- แสดงถึงความสามารถในการควบคุมความเย็น ในที่นี้จะขึ้นกับรูปแบบของการทำงานของสภาพแสงเงาภายในอาคารที่ผู้ใช้สามารถปรับได้ตามความต้องการ
- แสดงถึงปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง
- แสดงถึงการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบการส่งกำลังกระแสสลับ อันเนื่องจากการลดลงของการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดภายในช่วงเวลาที่มีผู้ใช้ไฟฟ้ามีอยู่สูงในเวลานั้น
- ทำให้สามารถจัดการกับองค์ประกอบของภาระ ในวงจรกระแสไฟฟ้าสลับ อีกทั้งยังมีความสามารถในการจัดการของผลกระทบกับอุปสงค์ของผู้บริโภค และการตอบสนองของอุปสงค์ในผู้บริโภคภายใต้เงื่อนไขการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด

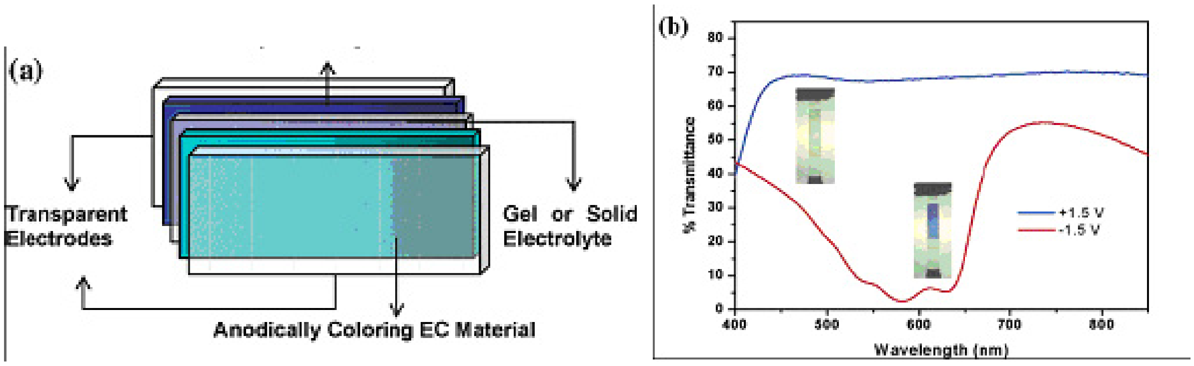
ผลที่ได้รับต่างๆนี้เป็นตัวกำหนดปริมาณสำหรับอาคารพาณิชย์ที่หน้าต่างอยู่ในแนวตั้ง และถูกใช้เป็นพื้นฐานกับอาคารสำนักงาน โดยที่เจ้าของอาคารสำนักงานจะทำการลดแสงเงา เพื่อการวางตำแหน่งในระบบคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สำนักงานอื่นที่มีน้ำหนักมาก เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน สำหรับการประยุกต์ใช้กับบ้านที่อยู่อาศัย ในการศึกษาและวัดผลของการทำงานจากกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิค ได้แสดงให้ทราบถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นผลจากการปรับเปลี่ยนการควบคุมเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสม และการออกแบบที่ช่วยให้ลดผลกระทบจากแสงอาทิตย์โดยตรง อีกทั้งการจัดการด้านแสงสว่างภายในอาคาร จากผลการนำเสนอข้อมูลนี้ทำให้ผู้บริโภคได้รู้จักความสามารถและผลที่ได้รับอันก่อให้เกิดความสะดวกสบาย ซึ่งตามข้อมูลการทดสอบในทางปฏิบัติ หน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคสร้างจากสารประกอบโลหะออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะใช้สารประกอบทังสเตนออกไซด์ เป็นพื้นฐานของการสร้าง รวมทั้งขั้วโลหะโปร่งแสงจาก

สารประกอบ อินเดียมทินออกไซด์ และสารประกอบอิเล็กโทรไลท์ที่ให้ประจุโปรตรอนในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน จากการประยุกต์ใช้งานในปัจจุบันนี้ซึ่งได้มีการผลิตต้นแบบออกมาสู่ผู้ใช้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว รวมทั้งส่วนของอุปกรณ์ควบคุม ที่สามารถควบคุมกระจกหน้าต่างนี้ให้มีสถานะการทำงานที่เหมาะสม ในที่นี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงของการทำงานจะมีค่าสัมประสิทธ์ของการส่งผ่านในการมองเห็น (τ_v) ในช่วง 0.60-0.05 และมีสัมประสิทธ์การขยายตัวของรังสีความร้อนดวงอาทิตย์ (U_g) ที่เท่ากับ 0.42-0.09 ดังในภาพประกอบ 24 เป็นการลดลงของการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของกระจกแบบอิเล็กโทรโครมิค และกระจกหน้าต่างชนิดอื่นๆ โดยในแต่จุดที่แสดงอยู่ในกราฟนี้เป็นกระจกกรองแสงแบบคงที่ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยกระจกแต่ละชนิดที่มีอยู่นี้จะมีสัมประสิทธิอัตราการขยายตัวของความร้อน และมีระดับการให้แสงในย่านความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้ผ่าน ที่คงที่เท่านั้น ส่วนที่เป็นลูกศรนั้นตัดบนกราฟแสดงให้ทราบถึงความสามารถของกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิค ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มสีจากระดับที่ความเข้มสูงในขณะที่มีการเปลี่ยนสีที่สูงซึ่งแสงจะผ่านได้ (3.5%) หรือในทางกลับกันก็จะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มีสีซึ่งจะมีความสามารถในการส่งผ่านในการมองเห็นที่ (62%) (Apte,2002:871-888)



ภาพประกอบ 24 แสดงการลดลงของการถ่ายเทความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ของกระจกแบบอิเล็กโทรโครมิค และกระจกหน้าต่างชนิดอื่นๆ

ในที่นี้เราจะพบว่าในกระบวนการสร้างอุปกรณ์สิ่งประดิษฐ์ชนิดนี้นั้นเราสามารถใช้สารอิเล็กโตไลท์ทั้งที่เป็นแบบของแข็งและแบบที่เป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงโดยที่สารอิเล็กโตไลท์ทั้งสองแบบสามารถเป็นตัวนำ และตัวจ่ายเพื่อให้ประจุอิออนเคลื่อนที่เข้าไป หรือ ออกจากชั้นสารที่เกิดปฏิกริยาไฟฟ้าเคมีให้เปล่งสีหรือให้สีจางหายไป ดังนั้นสารอิเล็กโทรไลท์จึงเป็นส่วนสำคัญเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับการแลกเปลี่ยนประจุอิออนในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีทั้ง ออกซิเดชั่น(Oxidation) และรีดักชั่น (Reduction) ดังนั้นทั้งการดูดกลืนแสงและการส่งผ่านของแสง ซึ่งเกิดจากการได้รับแรงดันไปอัสตรงและแรงดันไปอัสย้อนกลับกับขั้วไฟฟ้าของตัวอุปกรณ์ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนสี (ดูดกลืนแสง) และการส่งผ่าน (สีจางลง) ของแสงที่ผ่านออกไป ดังนั้นการที่จะเพิ่งความคมชัดในตัวอุปกรณ์จะขึ้นกับปริมาณสัดส่วนของสารอิเล็กโตไลท์และสารที่ใช้ในการกำเนิดสีดังแสดงตามภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 (a) แผนภาพการทำงานของการดูดกลืนและการส่งผ่านของแสงจากสิ่งประดิษฐ์ที่เปลี่ยนสีจากจากการให้แรงดันไบอัสตรงและไบอัสย้อนกลับ (b) แสดงเปอร์เซ็นต์ขนาดของการดูดกลืนกับการส่งผ่านของแสงจากตัวสิ่งประดิษฐ์

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติ และประโยชน์ที่ได้รับจากกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคได้ทำให้ผู้ใช้ทั้งหลายได้ยอมรับและเชื่อถือถึงความสามารถของกระจกหน้าต่างชนิดนี้ เมื่อเทียบกับกระจกธรรมดาที่ต้องมีม่านกันแสงประกอบอยู่ ในระหว่างที่ทำการทดสอบกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคนี้พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในการมองเห็นอยู่ในช่วง 0.6-0.03 อย่างต่อเนื่อง รวมถึงความสามารถปรับความสว่างของแสงจากหลอดฟลูเรซเซ็นท์ ในที่นี้การประมาณการณ์ในการทำงานจะแบ่งออกด้วยกัน 3 แบบที่แตกต่างกัน โดยโหมดที่ (1) เป็นสถานะคงที่ของระดับอ้างอิง ที่มี (Tv=0.60) โหมดที่ 2 เป็นสถานะการควบคุมอัตโนมัติของกระจกอิเล็กโทรโครมิค และโหมดที่ 3 เป็นสถานะของการปรับความเข้มสีกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งผู้ใช้สามารถควบคุมได้ด้วยตนเองเพื่อต้องการปรับระดับความสว่างภายในห้อง และระดับความเข้มสีของกระจกอิเล็กโทรโครมิคเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบได้โดยตรงดังแสดงในภาพประกอบ 26 และ27 (S. Selkowitz,1998:1-10)(T.Lukaszewick,2004:363-372

ภาพประกอบ 26 แสดงการทดสอบกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคที่มีการปรับความเข้มสีเท่ากันหมด

ภาพประกอบ 27 แสดงระดับความเข้มสีที่แตกต่างกันจากทางด้านขวามาทางซ้ายของหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิค

สรุป

จากเทคโนโลยีอิเล็กโทรโครมิคบนกระจกที่มีขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง โดยการควบคุมปฏิกิริยาที่มีขึ้นในศตวรรษที่ 21 ซึ่งเป็นการทำงานของการปรับความเข้มสีเพื่อใช้ในการควบคุมความร้อน และความสว่างภายในอาคาร ได้ถูกนำมาประยุกเข้ากับระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน โดยสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้อย่างสูง และเพิ่มประสิทธิภาพของสภาวะแวดล้อมของที่อยู่อาศัย อีกทั้งตัวอาคารสำนักงานต่างๆ ดังนั้นวัสดุอิเล็กโทรโครมิคนี้มีศักยภาพอย่างสูงในด้านการควบคุมพลังงานความร้อนและแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการทำงานของกระจกหน้าต่างอิเล็กโทรโครมิคนี้จะเป็นการทำงานด้วยการให้แรงดันกับขั้วไฟฟ้าเพื่อปรับความเข้มของสีให้สัมพันธ์กันกับการส่งถ่ายพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตน์ โดยสัญญาณทางไฟฟ้านั้นจะเป็นข้อมูลที่สามารถนำเข้ากับชุดควบคุมที่เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ หรือการควบคุมด้วยผู้ใช้เองก็ได้ ซึ่งระบบต่างๆเหล่านี้นั้นสามารถที่จะนำเข้าประกอบเข้ากับอาคารสำนักงานที่อยู่อาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ