การทำงานของแก้วในเครื่องถ่ายเอกสาร

ดร.สุมาลี ลิขิตวนิชกุล

บทนำ

เครื่องถ่ายเอกสารได้เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งสำหรับการถ่ายทอดและสื่อสารข้อมูลที่สามารถพบได้ในสถานที่ต่างๆ เช่น สถานที่ราชการ สถานศึกษา โรงพยาบาล ธนาคาร หรือแม้แต่ในบ้านเรือน เครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นประเภทไม่ใช้น้ำยาเคมี (xerography มาจากคำว่า xeros แปลว่า แห้ง และ graphos แปลว่า เขียน) การทำงานระบบนี้ได้ถูกคิดค้นโดยนายเชสเตอร์ เอฟ คาร์ลสัน เมื่อประมาณ 60 ปีที่แล้ว โดยใช้หลักการดูดและผลักกันของประจุไฟฟ้า (electrostatic) และการนำไฟฟ้าโดยอิทธิพลของแสง (photoconductivity)

กระบวนการถ่ายเอกสารอาศัยหลักการส่งผ่าน สะท้อน และดูดซับพลังงานของแสง ดังนั้นแก้วซึ่งอาจอยู่ในรูปของกระจกแผ่น กระจกเงา เลนส์ หรือเคลือบ (แก้วชนิดพิเศษ) จึงมีบทบาทสำคัญที่ทำให้การถ่ายเอกสารเกิดขึ้นได้ บทความนี้ได้อธิบายถึงการทำงานของเครื่องถ่ายเอกสาร หน้าที่ของแก้วที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเครื่องและได้อธิบายเน้นถึงแก้วที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าเมื่อได้รับแสง(photoconductive) ซึ่งอยู่ในรูปของแก้วชั้นบางๆ ที่เคลือบบนแผ่นโลหะ

การทำงานของเครื่องถ่ายเอกสาร

ภาพที่ 1 แสดงชิ้นส่วนภายในของเครื่อง Xerox 9400 เมื่อเครื่องเริ่มทำงาน ต้นฉบับที่ถูกใส่เข้าไปในช่อง (1) จะถูกป้อนเข้าไปที่กระจกแผ่นสำหรับรับเอกสาร (2) เอกสารนี้จะถูกฉายแสง ภาพบนเอกสารจะถูกส่งผ่านกระจกแผ่น และจะตกลงบนกระจกเงารับภาพ (3) ภาพบนกระจกเงานี้จะสะท้อนผ่านเลนส์ (4) ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อหรือขยายภาพและส่งต่อไปยังกระจกเงารับภาพ (5) แสงที่สะท้อนจากกระจกเงา (5) จะตกลงบนแผ่นโลหะบางเคลือบด้วยแก้ว (photorecepter belt) (6) ลูกกลิ้งแม่เหล็ก (magnetic rollers) (7) จะทำหน้าที่โรยและปัดผงหมึก (toner) ลงบนผิวแก้วที่เคลือบแผ่นโลหะบาง ผงหมึกนี้ประกอบด้วยผงคาร์บอน ซิลิกา และโพลิเมอร์ ที่หลอมตัวได้เมื่อได้รับความร้อน (thermosetting polymer) จากนั้นกระดาษจากถาด (8) ซึ่งถูกทำให้เกิดประจุบวกที่มีความเข้มของประจุสูงจะเคลื่อนไปเหนือแผ่นโลหะบางเคลือบด้วยแก้ว และดึงเอาผงหมึกไว้ (9) กระดาษนี้ถูกส่งผ่านไประหว่างลูกกลิ้งสองลูก และถูกฉายให้เกิดความร้อนด้วยแสงอินฟราเรด (10) ซึ่งจะหลอมผงหมึกให้ติดกับกระดาษ ถ้าต้องการถ่ายสำเนาเพียงหนึ่งแผ่นหรือหนึ่งหน้ากระดาษนี้จะถูกส่งไปที่ถาด (11) แต่ถ้าต้องการถ่ายสำเนาจำนวนหลายแผ่นกระดาษนี้จะถูกส่งไปเก็บที่ (12) หรือถูกส่งกลับเมื่อพิมพ์หน้าที่สองที่ (13) ส่วนควบคุมกลาง (14) และส่วนควบคุมระบบ (15) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง

ตำแหน่งและหน้าที่ของแก้วภายในเครื่อง

แก้วที่ใช้ในเครื่องถ่ายเอกสารอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น กระจกแผ่น (ตำแหน่งที่ 2) กระจกเงา (ตำแหน่งที่ 3 และ 5) เลนส์ (ตำแหน่งที่ 4) และแก้วในลักษณะของเคลือบบนแผ่นโลหะ (ตำแหน่งที่ 6) แก้วเหล่านี้มีความสำคัญต่อการทำงานและระบบการถ่ายเอกสารของเครื่องต่างๆ กัน กระจกแผ่นในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งทำหน้าที่รองรับต้นฉบับต้องมีความแข็งแรง มีความสม่ำเสมอในเนื้อแก้วและมีความเรียบ เพื่อทำให้กระจกนี้สามารถรับน้ำหนักและทนทานต่อการใช้งานได้ นอกจากนั้นยังต้องสามารถส่งผ่านภาพจากต้นฉบับได้ดีโดยไม่มีการบิดเบือนเกิดขึ้น กระจกเงาในตำแหน่ง 3 และ 5 ต้องมีความเรียบ มีเนื้อแก้วที่สม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงดี ส่วนเลนส์ในตำแหน่งที่ 4 จะต้องมีประสิทธิภาพในการย่อหรือขยายภาพให้ได้สัดส่วนที่ต้องการและถูกต้อง แก้วที่เคลือบบนแผ่นโลหะในตำแหน่งที่ 6 เป็นแก้วที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นแก้วที่สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อได้รับแสง และเป็นส่วนที่ทำให้การถ่ายทอดข้อความจากต้นฉบับมาสู่สำเนาเกิดขึ้นได้ รายละเอียดของการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และกระบวนการถ่ายทอดข้อความได้อธิบายในหัวข้อต่อไป

แก้วที่นำไฟฟ้าได้เมื่อได้รับแสง (photoconductive glass)

แก้วที่เคลือบอยู่บนโลหะแผ่นบางนี้จะมีความหนาประมาณ 50 ไมครอน และเป็นแก้วชาลโคเจไนด์ คือแก้วที่ทำจากธาตุชาลโคเจน [ธาตุกลุ่มที่ V ในตารางธาตุ เช่น ซัลเฟอร์ (S) เซเลเนียม (Se) และเทลลูเรียม (Te) เพียงอย่างเดียว หรือผสมกับธาตุในกลุ่มที่ IV ฟอสฟอรัส (P) สารหนู (As) พลวง (Sb) และบิสมัธ (Bi) หรือผสมกับธาตุ เยอร์มาเนียม (Ge) และธัลเลียม (TI)] แก้วชาลโคเจไนด์ที่เคลือบนี้อยู่ในรูป

ของ Se และอาร์เซนิกเซเลไนด์ (As_2Se_3) แก้วชนิดนี้มีคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) โดยจะทำหน้าที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้า (dielectric) แต่จะมีสมบัตินำไฟฟ้าดีขึ้นเมื่อได้รับแสง (photoconductive)

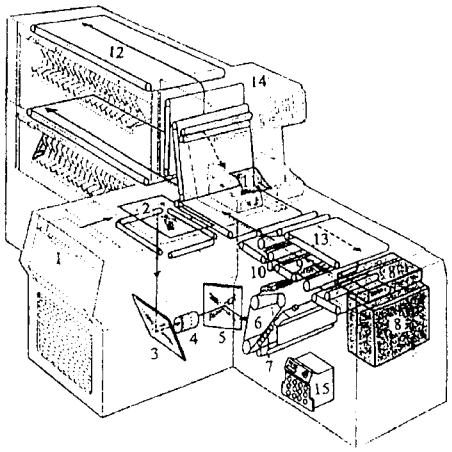
การนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแก้วชาลโคเจไนด์สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อแสงตกกระทบบนแก้ว พลังงานจากแสง (photon) จะถูกดูดซับโดยชั้นบางๆ ของแก้ว พลังงานนี้เพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนกระโดดข้ามช่องว่างของพลังงาน (energygap, E_g) ของแก้วชาลโคเจไนด์ ซึ่งมีค่าประมาณ 2 อิเล็กตรอนโวลต์ โดยกระโดดจากแถบพลังงานวงนอกสุด (valence band) ไปสู่แถบนำไฟฟ้า (conduction band) ทำให้เกิดคู่ของอิเล็กตรอน-โฮลขึ้น (ดูภาพที่ 2) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น

การนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทำให้กระบวนการถ่ายเอกสารเกิดขึ้นได้ดังนี้ เคลือบแก้วบนผิวโลหะ (ตำแหน่งที่ 6) จะถูกเหนี่ยวนำด้วยเส้นลวดอิเล็กโตรดที่มีกำลังเคลื่อนไฟฟ้า 30 กิโลโวลต์ ทำให้เกิดประจุบวก (electrostatic charges) ที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนผิวของชั้นแก้วขึ้น (ดูภาพที่ 3 ก) ในขณะเดียวกันนั้นประจุลบได้ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นแก้วและโลหะ (glass-metal substrate interface) ขั้นตอนนี้เป็นการเตรียมผิวของแก้วเพื่อรับภาพสะท้อนจากกระจกเงา (5)

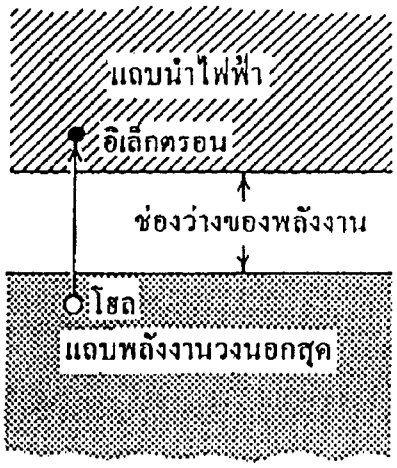
ภาพหรือข้อความที่ต้องการจะถ่ายสำเนาจะถูกถ่ายทอดลงบนแก้วที่มีประจุบวกอยู่บนผิวโดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางแสง คือ ส่วนที่เป็นสีขาวบนต้นฉบับจะสะท้อนแสงออกมามาก แต่ส่วนที่มีสีเข้มจะสะท้อนแสงออกมาน้อย แสงที่สะท้อนออกมาจากกระจกเงา (5) จะตกกระทบและถูกดูดซับโดยแก้วชาลโคเจไนด์ และจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนขึ้นในชั้นแก้ว (จากหลักการที่อธิบายข้างต้น) อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปหาประจุบวกบนผิวของชั้นแก้ว (ดูภาพที่ 3 ข) และทำให้บริเวณนั้นเกิดเป็นกลางขึ้น สำหรับโฮลที่คู่กับอิเล็กตรอนนั้นๆ จะเคลื่อนไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นแก้วและโลหะ เพื่อทำให้เกิดความเป็นกลางกับประจุลบในบริเวณนั้น สำหรับส่วนที่เป็นสีดำในต้นฉบับซึ่งมีแสงสะท้อนออกมาน้อย อิเล็กตรอนในชั้นแก้วจะเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดเลย จึงทำให้ประจุบวกบนผิวแก้วยังคงอยู่ ดังนั้นเมื่อโรยผงหมึกที่มีประจุลบลงบนแผ่นโลหะที่เคลือบด้วยแก้วชาลโคเจไนด์นี้ ผงหมึกจะเกาะกับบริเวณที่มีประจุบวกบนผิวแก้วและจะเกาะแน่นเป็นพิเศษในบริเวณที่มีความเข้มของประจุสูง (highly charged dark regions) (ดูภาพที่ 3 ค) ผงหมึกส่วนเกินจะถูกเขย่าออกก่อนที่กระดาษที่มีประจุบวกจะถูกป้อนลงบนแผ่นโลหะเคลือบผงหมึกที่มีประจุลบจะถูกประจุบวกบนกระดาษดูดออกมา (ดูภาพที่ 3 ง) หลังจากนั้นกระดาษที่มีผงหมึกติดอยู่จะถูกรีดด้วยลูกกลิ้ง และถูกฉายแสงเพื่อหลอมโพลิเมอร์ที่ผสมอยู่ในผงหมึกให้ติดกับกระดาษ เมื่อกระบวนการถ่ายเอกสารเสร็จสิ้นลง แผ่นโลหะเคลือบแก้วนี้จะถูกทำให้สะอาด โดยการฉายแสงลงบนแผ่นโลหะเคลือบทั้งแผ่น ขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้นทั่วในชั้นแก้ว อิเล็กตรอนจะทำให้ประจุบวกที่เหลืออยู่เป็นกลาง ในขณะเดียวกันโฮลจะทำให้ประจุลบที่บริเวณรอยต่อระหว่างชั้นแก้วและโลหะเป็นกลาง ปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้หมึกที่มีประจุลบหลุดออก ผิวหน้าของแก้วจึงพร้อมสำหรับใช้ถ่ายสำเนาต่อไป

สรุป

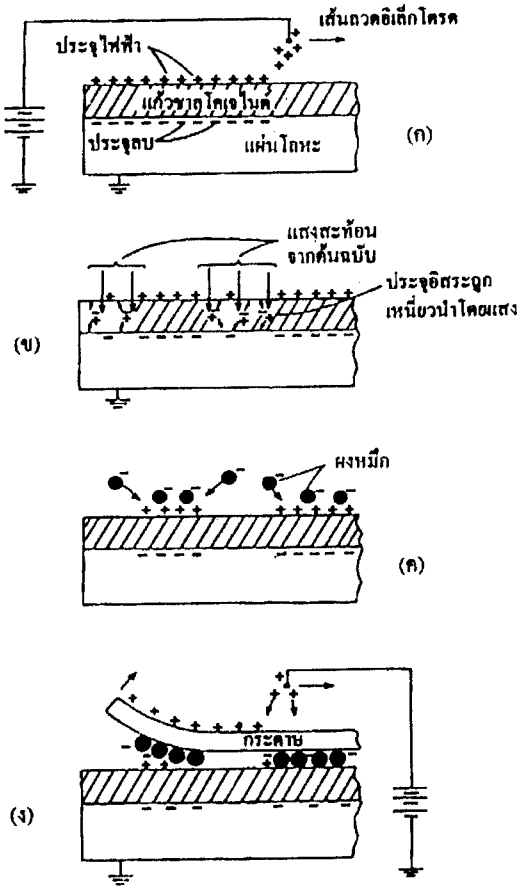
วิทยาการในการถ่ายเอกสารได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันเรามีเครื่องถ่ายเอกสารที่เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งสามารถทำงานได้รวดเร็วมาก เครื่องถ่ายเอกสารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในท้องตลาดล้วนแต่มีแก้วเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ แก้วในเครื่องถ่ายเอกสารทำหน้าที่ต่างๆ กัน เริ่มจากเป็นกระจกแผ่นรองรับเอกสารต้นฉบับ เป็นกระจกเงาสะท้อนภาพหรือข้อความ เป็นเลนส์ที่ใช้ย่อหรือขยายข้อความ จนกระทั่งถึงส่วนที่สำคัญมาก คือแก้วชั้นบางๆ ที่เคลือบบนแผ่นโลหะ ซึ่งเป็นแก้วชาลโคเจไนด์ (Se หรือ As_2Se_3) คุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำของแก้วชนิดนี้ ทำให้แก้วนี้สามารถนำไฟฟ้าได้เมื่อได้รับแสง จากคุณสมบัตินี้ประกอบกับหลักการของการดูดและผลักกันของประจุไฟฟ้า และหลักการพื้นฐานทางแสง ทำให้กระบวนการถ่ายเอกสารแบบไม่ใช้น้ำยาเคมีเกิดขึ้นได้ ปัจจุบันเครื่องถ่ายเอกสารระบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในสำนักงานทั่วไป



ภาพที่ 1 ชิ้นส่วนภายในเครื่อง Xerox 9400



ภาพที่ 2 การเกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮลในสารกึ่งตัวนำ



ภาพที่ 3 หลักการถ่ายเอกสารแบบไม่ใช้น้ำยาเคมี :

(ก) การเหนี่ยวนำให้เกิดประจุโดยอิเล็กโตรด

(ข) ประจุที่เกิดขึ้นในแก้วชาลโคเจไนด์จากอิทธิพลของแสง

(ค) การลอกเลียนภาพจากต้นฉบับลงบนผิวแก้ว

(ง) การถ่ายสำเนาลงบนกระดาษ

เอกสารอ้างอิง

Anderson, J.C., et. al. Materials science. 4th ed. London: Chapman and Hall, 1990. Chapter. 14, p. 425-450.

Golembeski, D.J. Struggling to become an inventor. In Allen, F Great invention that changed the world. New York,N.Y.: American Heritage, 1994. p.40-48.

Solymar, L. and Walsh, D. Lectures on the electrical properties of materials. 4th ed. Oxford: Oxford University Press, 1990. p.286.

Varshneya, A.K. Fundamentals of inorganic glasses. Boston: Academic Press, 1994. p. 385-389.