บทที่ 3

ความทึบแสงและมาตรความทึบแสง

ในการเก็บข้อมูลของระบบสเปกโทรสโกป เราสามารถเก็บข้อมูลได้หลายวิธี เช่น ใช้หลอดโฟโตมัลติไพลเออร์วัดความเข้มแสงแต่ละความยาวคลื่นที่ผ่านสเปกโทรสโกปออกมา หรือใช้ฟิล์มถ่ายภาพหรือแผ่นถ่ายภาพ(photographic plate)ในการบันทึกภาพสเปกโทรแกรม ในการเก็บข้อมูลนี้การใช้แผ่นถ่ายภาพหรือฟิล์มถ่ายภาพเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด ทั้งข้อมูลที่ได้จะได้ข้อมูลหลายๆความยาวคลื่นพร้อมๆกันด้วยแต่การใช้ฟิล์มถ่ายภาพหรือแผ่นถ่ายภาพก็มีข้อด้อยในการใช้งานอยู่เช่นกัน เพราะหลังจากกระบวนการแรก คือการให้แสงตกลงสู่ฟิล์มแล้ว ฟิลม์จะต้องผ่านกระบวนการอีกหลายขั้นตอนก่อนที่จะแสดงผลมาในปริมาณที่เรียกว่าความทึบแสง(density) ค่าความทึบแสงนี้จะมีความสัมพันธ์กับแสงที่ตกลงบนฟิล์มในรูปของเส้นลักษณะของน้ำยา(characteristic curve of emulsion) ความสัมพันธ์นี้จะมีรูปร่างเปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนสารทำให้เกิดภาพ(developer)และอุณหภูมิ ในการหาความสัมพันธ์นี้เพื่อนำไปหาปริมาณแสงที่ตกสู่ฟิล์มหรือแผ่นถ่ายภาพ เราจะต้องวัดความทึบแสงด้วยเครื่องมือที่เรียกว่ามาตรความทึบแสง(densitometer) หรือมาตรแสง(photometer) ดังจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไป

<u>ความทึบแสง(density)</u>[7]

ความทึบแสง เป็นปริมาณที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแสงที่ผ่านเนื้อฟิล์มออกมาได้ ถ้าพิจารณาฟิล์มที่มีความหนาคงที่ ให้แสงตกกระทบมีความเข้ม I_o และแสงที่ผ่านเนื้อฟิล์มออกมาได้มีความเข้ม I เรานิยามค่าความทึบแสง ดังนี้

$$\text{ความทึบแสง(density)} = \log_{10}(I_o/I) \qquad (3\text{-}1)$$

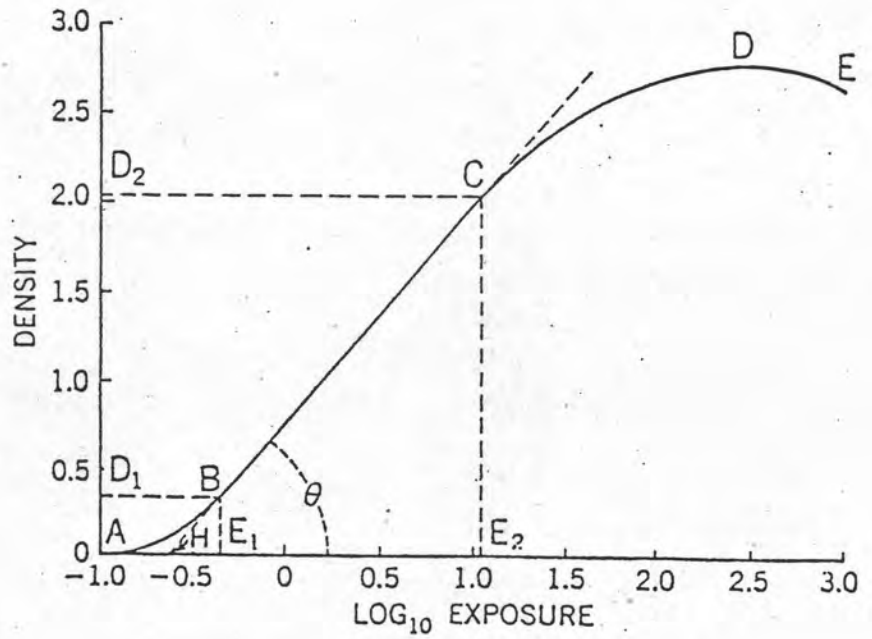
เหตุที่นิยามความทึบแสงเป็นลอการิทึมฐานสิบของอัตราส่วนของความเข้มแสงที่เข้าสู่แผ่นฟิล์มต่อแสงที่ผ่านออกมา เพื่อจะได้สะดวกในการพิจารณา เช่นถ้าค่าความทึบแสงเท่ากับ 1 หมายความว่าแสงที่ผ่านเนื้อฟิล์มออกมาจะมีค่าความเข้มแสงเพียง 1 ใน 10

ส่วนของค่าความเข้มเข้าสู่แผ่นฟิล์ม การวัดค่าความทึบแสงของฟิล์มสามารถทำได้โดยอ่านจากมาตรความทึบแสงหรือมาตรความทึบแสงอย่างละเอียด

<u>เส้นลักษณะของน้ำยา(characteristic curve of emulsion)</u>

คำว่าน้ำยาในที่นี้หมายถึงน้ำยาบันทึกภาพ(photographic emulsion) ที่ฉาบอยู่บนแผ่นฟิล์มหรือแผ่นภาพ น้ำยานี้เป็นสารประกอบของเงินที่มีความไวต่อแสง เมื่อเราให้สารประกอบนี้ได้รับแสงแล้วนำมาผ่านกระบวนการล้าง บริเวณที่ได้รับแสงจะปรากฏเม็ดเงินติดอยู่ ค่าความหนาแน่นของเม็ดเงินนี้จะเป็นตัวกำหนดความทึบแสงของภาพ ถ้าเราสามารถควบคุมการให้แสง(exposure)แก่น้ำยาได้แล้ว เราก็จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการให้แสงและความทึบแสงที่ปรากฏ ที่เรียกว่าเส้นลักษณะของน้ำยา หรือบางครั้งก็เรียกเส้นลักษณะของฟิล์ม ออกมาได้

ในการหาเส้นลักษณะของน้ำยาเราอาจควบคุมการให้แสงแก่ฟิล์มได้หลายวิธีเช่น ให้ฟิล์มได้รับแสงความเข้มคงที่ แต่เปลี่ยนเวลาที่เปิดหน้ากล้อง หรือนำแผ่นบันไดทอนแสงที่ทราบค่าความทึบแสงมาบังแหล่งกำเนิดแสงคงที่ แล้วถ่ายภาพของแหล่งกำเนิดแสงโดยเปิดหน้ากล้องนานเท่ากัน โดยวิธีนี้เมื่อเรานำแผ่นภาพหรือฟิล์มมาผ่านกระบวนการล้างแล้วนำมาวัดความทึบแสงของแผ่นภาพหรือฟิล์มที่สอดคล้องกับการให้แสงค่าต่างๆ เราจะสามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความทึบแสงของฟิล์มและการให้แสงดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 แสดงเส้นลักษณะของน้ำยาโดยประมาณ

จากรูป 3-1 เราแบ่งเส้นลักษณะของน้ำยาได้เป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วง AB เรียกช่วงการให้แสงอ่อน(under exposure)ความสัมพันธ์ระหว่างความทึบแสงและลอการิทึมฐานสิบของการให้แสงไม่เป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ในงานที่ต้องการวัดผลในเชิงปริมาณ เช่นในการศึกษารูปร่างของเส้นสเปกตรัม

ช่วง BC ช่วงนี้มีความสัมพันธ์ระหว่างความทึบแสงและค่าลอการิทึมฐานสิบของการให้แสงเป็นเส้นตรง มีความชันค่าหนึ่งเรียกว่า แกมมา (γ) หรือค่าดัชนีความชัด (contrast index) ค่าดัชนีความชัดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับกระบวนการล้างฟิล์มว่าใช้สารทำให้เกิดภาพ(developer)ประเภทใด, ที่อุณหภูมิเท่าใด และอื่นๆ เส้นลักษณะของฟิล์มโกดัก ไตร-เอกซ์ แพน (Kodak Tri-X Pan film), ฟิล์มโกดัก เวอริโครมแพน (Kodak Verichrome Pan film) และฟิล์มโกดัก ทีแมกซ์(Kodak TMAX film) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-2, รูปที่ 3-3 และรูปที่ 3-4 เนื่องจากช่วง BC นี้ค่าความทึบแสงและลอการิทึมฐานสิบของการให้แสงมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง จึงเป็นช่วงที่นิยมในการใช้งานที่ต้องการวัดความทึบแสงในเชิงปริมาณ

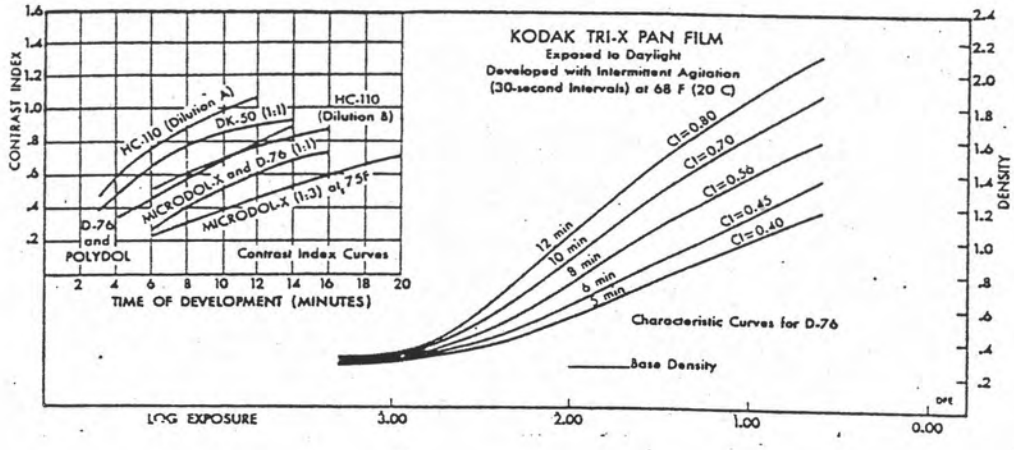
ช่วง CD เป็นช่วงการให้แสงเกิน(over exposure) เป็นบริเวณที่ลอการิทึมฐานสิบของการให้แสงสัมพันธ์กับความทึบแสงไม่เป็นเส้นตรงจึงไม่นิยมใช้งานในเชิงปริมาณ

ช่วง DE เรียกว่าเป็นช่วงย้อนกลับ(reversal) ช่วงนี้การเพิ่มปริมาณการให้แสงไม่เพียงแต่ไม่มีผลต่อการเพิ่มความทึบแสงเท่านั้น แต่ฟิล์มจะสูญเสียความสามารถในการเก็บรายละเอียดไปด้วย

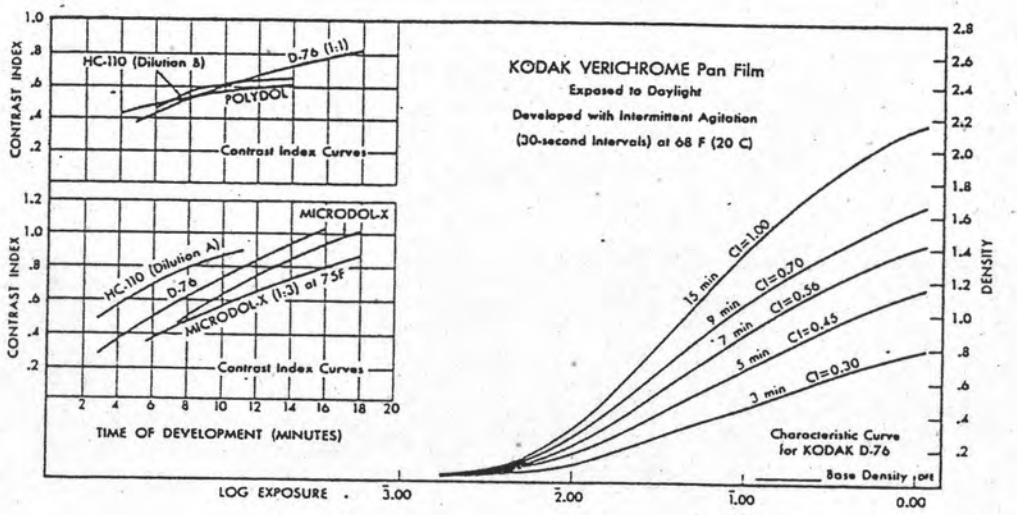
<u>มาตรความทึบแสงอย่างละเอียด(microdensitometer)</u>

มาตรความทึบแสงอย่างละเอียด เป็นเครื่องมือวัดค่าความทึบแสงของบริเวณเล็กๆบนแผ่นภาพหรือฟิล์ม โดยบังคับให้แสงจากแหล่งกำเนิดคงที่ตกลงบนแผ่นภาพหรือฟิล์มในบริเวณที่เลือกไว้ แล้ววัดค่าความเข้มแสงที่ผ่านเนื้อฟิล์มหรือแผ่นภาพบริเวณนั้นมาได้เทียบกับในบริเวณที่ไม่มีภาพหรือบริเวณที่ไม่มีความทึบแสง

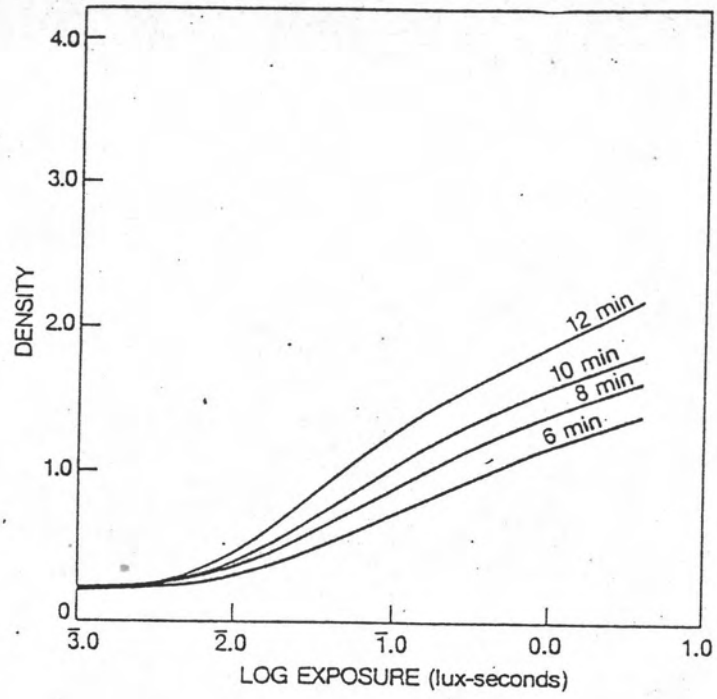
ถ้าให้แสงความเข้ม I_o แก่แผ่นภาพหรือฟิล์ม แสงที่ผ่านออกมามีความเข้ม I และมาตรวัดความทึบแสงอย่างละเอียดแสดงค่าการอ่านเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มที่เข้าสู่อุปกรณ์วัดแสง(photodetector)และแสดงผลออกมาดังนี้



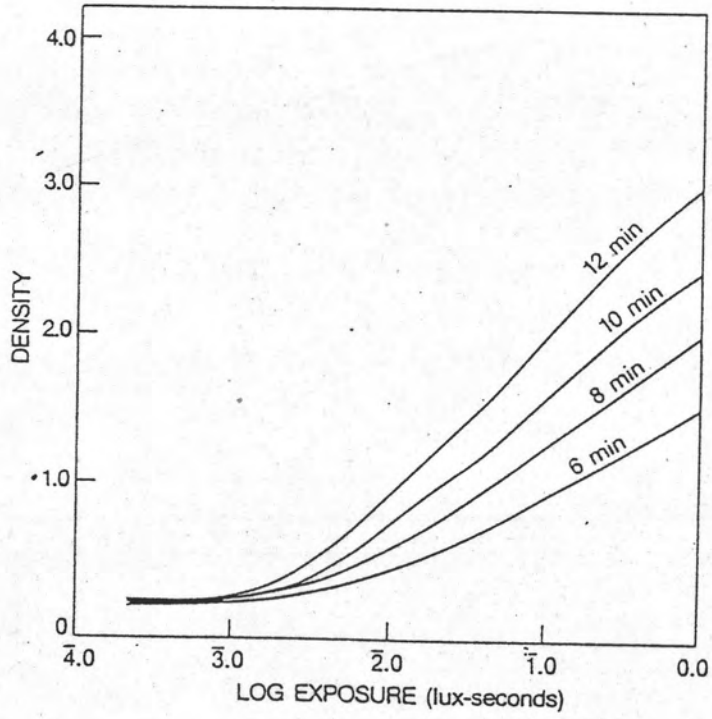
รูปที่ 3-2 เส้นลักษณะของฟิล์มโกดัก ไตร-เอกซ์ แพน (ใช้สารทำให้เกิดภาพ D-76)[8]



รูปที่ 3-3 เส้นลักษณะของฟิล์มโกดัก เวอริโครม แพน (ใช้สารทำให้เกิดภาพ D-76)[8]



(ก)



(ข)

รูปที่ 3-4 เส้นลักษณะของฟิล์มโกดัก ทีแมกซ์ (ใช้สารทำให้เกิดภาพ D-76)

(ก) สำหรับฟิล์มโกดัก ทีแมกซ์-100 (ข) สำหรับฟิล์มโกดัก ทีแมกซ์-400 [9]

R_o เป็นค่าที่อ่านได้จากมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดเมื่อแสงผ่านบริเวณปรกติที่ไม่มีภาพหรือเมื่อไม่ได้ผ่านฟิล์ม

R_b เป็นค่าที่อ่านได้จากมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดในบริเวณที่ทึบแสงที่สุดหรือไม่มีแสงเข้าสู่มาตรความทึบแสง

R เป็นค่าที่อ่านได้จากมาตรความทึบแสงอย่างละเอียด เมื่อแสงผ่านบริเวณที่ต้องการหาความทึบแสง

ในกรณีนี้เราจะเขียนค่าความทึบแสงได้ดังนี้

ความทึบแสง $D = \log_{10} (I_o/I)$

$$\propto \log_{10} [(R_o-R_b)/(R-R_b)]$$

$$\propto \log_{10} (R_o-R_b) - \log_{10} (R-R_b) \qquad (3-2)$$

ปรกติค่า R_o และ R_b จะคงที่ในการวัดค่าหนึ่งๆแต่ก็จำเป็นต้องมีการตรวจสอบค่านานๆครั้งและค่า R จะอ่านเฉพาะในบริเวณที่ต้องการศึกษา

มาตรความทึบแสงอย่างละเอียดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้รับการออกแบบและผลิตโดยใช้อุปกรณ์และวิธีต่างๆกันในการวัดความทึบแสง ดังนั้นโดยรวมๆแล้วเราอาจจำแนกมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดออกได้ในหลายลักษณะดังนี้

1. แยกประเภทตามการให้แสงแก่ฟิล์ม สามารถแยกออกได้เป็น

ก) แบบฉายภาพ ลักษณะนี้บริเวณที่ต้องการศึกษาจะได้รับแสงจากแหล่งกำเนิดคงที่แล้วฉายไปปรากฏเป็นภาพบนฉาก หรือส่วนหน้าของอุปกรณ์วัดแสง ความทึบแสงจะวัดจากสัดส่วนของความเข้มแสงบนภาพถ่ายแต่ละส่วนเปรียบเทียบกัน

ข) แบบรวมแสง แสงจากแหล่งกำเนิดจะถูกโฟกัสไปที่แผ่นภาพหรือฟิล์มในบริเวณที่ต้องการศึกษาแล้วแสงผ่านเข้าสู่หัววัดโดยตรง

2. แยกประเภทตามลักษณะการวัดความทึบแสง

ก) แบบวัดด้วยบุคคล(subjective) โดยการเปรียบเทียบความสว่างของแสงที่ผ่านบริเวณที่ต้องการศึกษากับแสงที่ผ่านแผ่นความทึบแสงมาตรฐานด้วยสายตาของผู้ทำการวัด

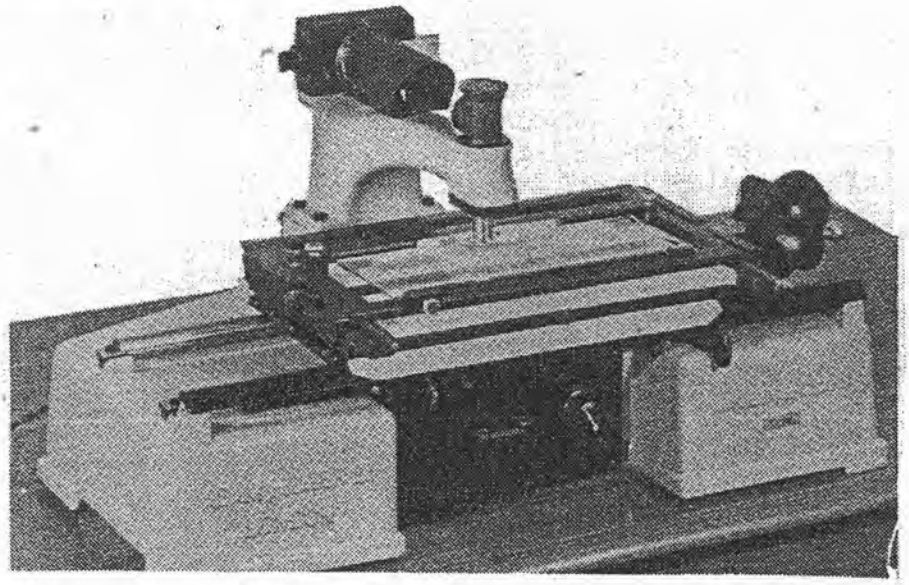
ข) แบบวัดด้วยอุปกรณ์(objective or physical) การทำงานของมาตรความทึบแสงแบบนี้จะวัดความทึบแสงผ่านอุปกรณ์วัดความเข้มแสง เช่น โฟโตเซลล์

หลอดโฟโตมัลติไพลเออร์ มาร่วมในการตัดสินความทึบแสง มาตรความทึบแสงที่ใช้งานในลักษณะนี้มี 2 แบบด้วยกัน คือ แบบวัดศูนย์(null type microdensitometer) และแบบวัดการเบี่ยงเบน(deflection type microdensitometer) ผลการวัดที่ได้จากมาตรความทึบแสงแบบนี้สามารถอ่านได้โดยตรงหรือบันทึกเป็นกราฟตามแต่การใช้งาน

<u>มาตรความทึบแสงอย่างละเอียดแบบวัดการเบี่ยงเบนของบริษัทฮิลเกอร์และวัตต์</u>

มาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัทฮิลเกอร์และวัตต์ มีลักษณะการทำงานเป็นมาตรความทึบแสงแบบวัดการเบี่ยงเบน มาตรความทึบแสงแบบนี้จะแสดงผลออกมาทางเครื่องวัด เช่น แกลแวนอมิเตอร์(galvanometer) การทำงานจะให้แสงผ่านแผ่นภาพหรือแผ่นฟิล์มแล้วเข้าสู่อุปกรณ์วัดแสง ผลการวัดจะแสดงออกทางเครื่องวัด ความละเอียดของการวัดขึ้นกับการจัดส่วนของแสงที่เข้าสู่อุปกรณ์วัดแสงให้มาจากบริเวณที่เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้บนแผ่นภาพหรือแผ่นฟิล์ม เช่น อาจจะสร้างภาพส่วนหนึ่งของแผ่นภาพหรือแผ่นฟิลม์ลงบนช่องแคบเดี่ยวเล็กๆอันหนึ่งที่บังอยู่หน้าอุปกรณ์วัดแสง ดังนี้ ความละเอียดของการวัดจะขึ้นกับกำลังขยายของภาพและความกว้างของช่องแคบ สำหรับการใช้งานจริงการเลื่อนตำแหน่งแผ่นฟิล์มหรือแผ่นภาพที่ต้องการวัด ต้องเลื่อนในอัตราที่ช้าพอที่จะให้เครื่องวัดแสดงผลสูงสุดเสียก่อน

สำหรับมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัท ฮิลเกอร์ และวัตต์ ที่นำมาใช้ในโครงงานนี้มีลักษณะทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 มาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัทฮิลเกอร์ และวัตต์

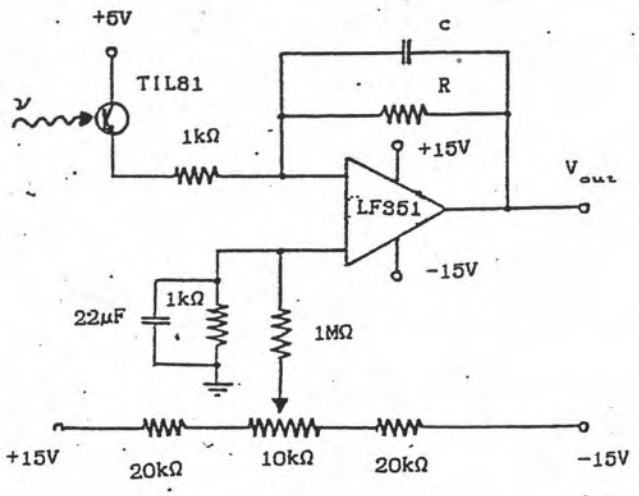
ในมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัทฮิลเกอร์ และวัตต์ แผ่นฟิล์มหรือแผ่นภาพจะวางอยู่บนแคร่เลื่อนขนาดความยาว 12 นิ้ว กว้าง 6 นิ้ว สามารถปรับให้เลื่อนได้ด้วยมือหรือระบบอัตโนมัติ การปรับเลื่อนในระบบอัตโนมัติกระทำได้ 2 อัตราเร็วคือ ในอัตราเร็ว 0.1 มิลลิเมตรต่อนาที และในอัตราเร็ว 0.25 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับแหล่งกำเนิดแสงของมาตรความทึบแสงแบบนี้ใช้หลอดไฟขนาดกำลัง 18 วัตต์ กินกระแส 3 แอมแปร์ แสงจะถูกสะท้อนและรวมด้วยเลนส์กล้องจุลทรรศน์ลงสู่แผ่นภาพหรือแผ่นฟิล์ม แล้วภาพบนแผ่นภาพหรือแผ่นฟิล์มนี้จะถูกขยายขึ้น 10 เท่าปรากฏเป็นภาพบนช่องแคบเดี่ยว ช่องแคบเดี่ยวจะเป็นส่วนที่เลือกบริเวณของภาพที่จะให้แสงเข้าสู่โฟโตเซลล์ การอ่านค่าจะอ่านได้จากแกลแวนอมิเตอร์ ช่องแคบเดี่ยวหน้าโฟโตเซลล์สามารถปรับความกว้างได้ด้วยวงแหวนบังคับ วงแหวนบังคับนี้จะแบ่งออกเป็น 100 ส่วนมาตรา การหมุนวงแหวนบังคับ 1 ส่วนมาตราจะเพิ่มความกว้างช่องแคบขึ้น 0.02 มิลลิเมตร ความยาวของช่องแคบเดี่ยวสามารถปรับได้ด้วยการใช้แผ่นโลหะที่ปลายแบ่งเป็นแฉกปิดข้างหน้า

ในการนำมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัทฮิลเกอร์ และวัตต์มาใช้งานในโครงงานนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบบางประการของมาตรความทึบแสงที่อาจจะเสื่อมสภาพเนื่องจากการทอดทิ้งมิได้ทำการซ่อมบำรุงมาเป็นเวลานานและเพื่อความสะดวกในการใช้งาน รายละเอียดการเปลี่ยนแปลง การเทียบมาตรฐาน และข้อสรุป จะได้แสดงในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. <u>รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงมาตรความทึบแสงอย่างละเอียดของบริษัทฮิลเกอร์ และวัตต์ เพื่อการใช้งาน</u>

ก) เปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟขนาดกำลัง 18 วัตต์ ใช้ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 6 โวลต์ เป็น หลอดไฟขนาดกำลัง 25 วัตต์ ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ จ่ายไฟด้วยแบตเตอรี่ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ หรือ แหล่งจ่ายไฟตรงขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 12 โวลต์ที่จ่ายกระแสได้สูงสุด 3 แอมแปร์

ข) เปลี่ยนอุปกรณ์วัดแสงจากโฟโตเซลล์ที่ติดตั้งมากับมาตรความทึบแสงเป็น โฟโตทรานซิสเตอร์(ภาคผนวก ก) รหัส TIL 81 ร่วมกับวงจรขยายออป แอมป์ (operational amplifier) ในลักษณะของวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นศักย์(current to voltage converter) ดังแสดงในรูปที่ 3-6



รูปที่ 3-6 แสดงวงจรที่ใช้ TIL 81 เป็นอุปกรณ์วัดแสงร่วมกับวงจรเปลี่ยนกระแสเป็นศักย์ที่ใช้ในมาตรความทึบแสง

ในการจัดนี้ โฟโต้ทรานซิสเตอร์ TIL 81 จะอยู่หลังช่องแคบเดี่ยวโดยอยู่ใกล้ที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อที่ว่าโฟโตทรานซิสเตอร์จะได้รับแสงมากที่สุด ผลการวัดจะแสดงออกทางเครื่องวัด อันได้แก่ โวลต์มิเตอร์ และเครื่องบันทึกแผนภูมิ (chart recorder) ของบริษัท Allen Datagraph, Inc รุ่น 925 M ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับกระแสที่ไหลผ่านโฟโตทรานซิสเตอร์(i)ดังนี้

$$V_{out} = -iR$$

ในที่นี้ i เป็นกระแสตรง ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกจะแปรเปลี่ยนตามค่า i ค่าความต้านทาน R สามารถเลือกได้ 3 ค่า คือ 10 กิโลโอห์ม, 100 กิโลโอห์ม และ 1 เมกะโอห์ม เพื่อให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมีค่ามากพอที่จะแสดงผลทางเครื่องวัด

2. <u>การเทียบมาตรฐานมาตรความทึบแสง</u>

เพื่อเทียบมาตรฐานมาตรความทึบแสงที่เปลี่ยนแปลงส่วนประกอบแล้ว และหาความสัมพันธ์ระหว่างความทึบแสงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าออก จึงได้ใช้มาตรความทึบแสงทดลองอ่านค่าความทึบแสงของแผ่นบันไดทอนแสงT-14 (control scale T-14)ที่ทราบค่าความทึบแสงแล้วจากการอ่านด้วยมาตรความทึบแสงของภาควิชาเทคโนโลยีทางภาพถ่ายและการพิมพ์ รายละเอียดความทึบแสงของแผ่นบันไดทอนแสงได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แสดงค่าความทึบแสงของแผ่นบันไดทอนแสง T-14

บันไดทอนแสงขั้นที่	1	2	3	4	5	6	7
ความทึบแสง	0.07	0.18	0.30	0.42	0.54	0.66	0.78

บันไดทอนแสงขั้นที่	8	9	10	11	12	13	14
ความทึบแสง	0.90	1.01	1.14	1.26	1.38	1.50	1.63

ในการเทียบมาตรฐานมาตรความทึบแสง ทำการทดลองตามลำดับดังนี้

ก) วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกเมื่อแสงผ่านเข้าสู่โฟโตทรานซิสเตอร์โดยไม่ผ่านแผ่นบันไดทอนแสง เรียกเป็น R_o บันทึกไว้

ข) วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกเมื่อไม่มีแสงเข้าสู่โฟโตทรานซิสเตอร์เรียกเป็น R_b บันทึกไว้

ค) วัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกเมื่อแสงผ่านแผ่นบันไดทอนแสงแต่ละขั้น จนครบทั้ง 14 ขั้น เรียกเป็น R บันทึกไว้จนครบ 14 ขั้น

ง) ทำการวัดซ้ำจนกว่าจะได้จำนวนข้อมูลเท่าที่พอใจ

จ) เขียนตารางระหว่างค่าความทึบแสง จากตารางที่ 3-1 ข้างต้นกับค่า $\log_{10}[(R_o-R_b)/(R-R_b)]$ สำหรับทุกขั้นของบันไดทอนแสง

ฉ) นำข้อมูลในข้อ จ มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทึบแสงและค่า $\log_{10}[(R_o-R_b)/(R-R_b)]$ และหาค่าความชันของกราฟ

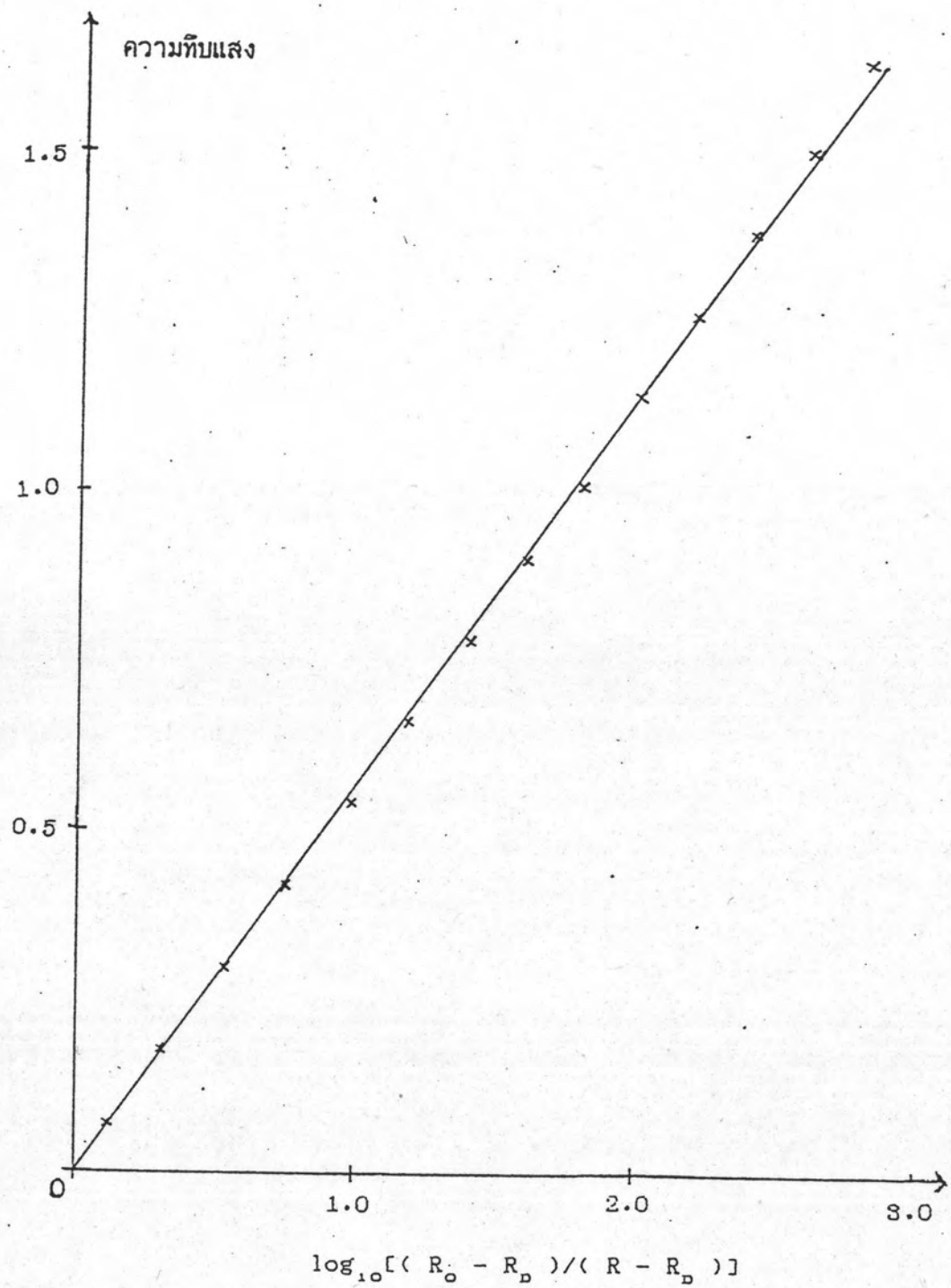
3. <u>สรุปผลการทดลอง</u>

จากผลการทดลอง(ภาคผนวก ข) ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทึบแสงกับค่า $\log_{10}[(R_o-R_b)/(R-R_b)]$ มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สามารถหาค่าความสัมพันธ์ได้จากการคำนวณการถดถอยเชิงเส้น(linear regression) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$D = 0.57 \log_{10}[(R_o - R_b)/(R - R_b)] \qquad (3\text{-}3)$$

กราฟความสัมพันธ์ดังสมการนี้แสดงไว้ในรูปที่ 3-7

เนื่องจากการใช้งานจริงของมาตรความทึบแสงอาจจะต้องมีการจัดเปลี่ยนสภาพต่างๆก่อนการวัดแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงกำหนดให้มีการเทียบมาตรฐานด้วยทุกครั้งที่จะใช้มาตรความทึบแสงวัดความทึบแสงของแผ่นฟิล์มข้อมูลใดๆ



รูปที่ 3-7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\log_{10}[(R_o-R_b)/(R-R_b)]$ และความทึบแสง