บทที่ 8
การวัดปริมาณทางแสง

แสงสว่างมีความสำคัญต่อชีวิตของสัตว์และพืชอย่างยิ่ง แหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติที่สำคัญที่สุด คือ ดวงอาทิตย์ แต่ดวงอาทิตย์จะให้แสงสว่างก็เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนหรือในสถานที่ที่แสงสว่างส่องเข้าไปไม่ถึง มนุษย์ก็ได้แสงสว่างจากแหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งรู้จักกันโดยทั่วไป คือ หลอดไฟชนิดต่างๆ

เป็นระยะเวลาหลายสิบปีที่ผ่านมา นับจากที่ เอดิสัน (Edison) ได้ประดิษฐ์หลอดไฟขึ้นเป็นหลอดแรก ก็ได้มีผู้ทำการวิจัยและพัฒนาหลอดไฟชนิดต่างๆ เพื่อให้ได้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทั้งในด้านประสิทธิผล (efficiency) หรือ ลูเมนต่อวัตต์ และคุณภาพของแสงที่ทำให้การมองเห็นสีของวัตถุ

นอกจากการวิจัยและการพัฒนาแล้ว การให้แสงสว่างที่เหมาะสมแก่สถานที่ประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนถนนหนทาง เพื่อความปลอดภัยแก่ร่างกายและทรัพย์สิน และการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งอุตสาหกรรมหลายประเภทที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับแสงสว่าง เช่น อุตสาหกรรมอุปกรณ์ถ่ายรูป อุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์ยานยนต์ และอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งกิจการทั้งหลายเหล่านี้ล้วนต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องวัดแสงที่มีความถูกต้องแม่นยำด้วยกันทั้งสิ้น และเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว ประเทศที่ก้าวหน้าทางอุตสาหกรรม จึงได้ร่วมกันกำหนดมาตรฐานทางแสงขึ้น โดยมีคณะกรรมการที่ปรึกษาทางแสงและรังสี (Consultative Committee on Photometry and Radiation, CCPR) ของคณะกรรมการระหว่างชาติว่าด้วยน้ำหนักและการวัด (International Committee on Weights and Measures) กำหนดขึ้น และโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการระหว่างชาติว่าด้วยน้ำหนักและการวัด

การวัดแสง หรือ Photometry หมายถึงการวัดพลังงานของรังสี (radiant energy) ในส่วนที่ตามองเห็น คือ รังสีที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 380 นาโนเมตร ถึง

780 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร เท่ากับ 10^{-9} เมตร) ซึ่งผลของการวัดนี้ย่อมต้องการให้ใกล้เคียงมากที่สุดกับความรู้สึกของตามนุษย์ที่มีต่อรังสีนั้น

จุดประสงค์พื้นฐานของการวัดทางแสง ก็คือการวัดรังสีที่ตามองเห็น ทั้งนี้โดยมีความสัมพันธ์กับการมองเห็นของตามนุษย์ปกติ

เนื่องจากตามนุษย์แต่ละคนย่อมมีความรู้สึกหรือความไวต่อรังสีแตกต่างกัน แม้แต่ตาของคนๆ เดียวกันความรู้สึกต่อแสงก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปตามอายุหรือกาลเวลา การใช้ตามนุษย์เป็นเครื่องวัดแสงจึงย่อมหาความแน่นอนไม่ได้ ดังนั้นการวัดแสงในปัจจุบันซึ่งใช้สิ่งประดิษฐ์แทนตา หรือ Photometer ซึ่งตัวรับแสง หรือ Photoreceptor ของเครื่องวัดแสงจะต้องทำให้มีคุณสมบัติในการตอบสนองต่อสเปกตรัมของรังสี (Spectral Response Characteristics) คล้ายกับตาของมนุษย์ปกติมากที่สุด

เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับใช้ในการวัดทางแสง International Commission on Illumination (CIE) จึงได้กำหนด Standard Spectral Luminous Efficiency, $V(\lambda)$ ของตามนุษย์ปกติหรือประสิทธิภาพในการมองเห็นสเปกตรัมของรังสีของตามนุษย์ปกติขึ้น โดยตัวรับแสงของเครื่องวัดจะต้องทำหรือตกแต่งให้มีความไวต่อรังสีเป็นไปตาม $V(\lambda)$

ตัวรับแสงของเครื่องวัดแสงส่วนใหญ่ในปัจจุบันทำด้วย Silicon Cell เมื่อแสงกระทบจะทำให้เกิด Photo-current ซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความสว่าง สำหรับการตกแต่งเพื่อให้ตัวรับแสงมีความไวต่อสเปกตรัมของรังสี เป็นไปตามหรือคล้ายกับ $V(\lambda)$ มากที่สุด สามารถทำได้โดยใช้ Colour filters ที่เหมาะสมปิดไว้ที่ด้านรับแสง

8.1 นิยามหน่วยรากฐานทางแสง

จากการประชุมครั้งที่ 16 ของ The Conference Generale des Poids et Measures หรือ CGPM เมื่อปี พ.ศ. 2522 ได้อนุมัติบัญญัตินิยามหน่วยความเข้มแห่งการส่องสว่างว่า **แคนเดล่า** เป็นหน่วยรากฐานทางแสงขึ้นใหม่ มีใจความว่า **แคนเดล่า [Candela (cd)] คือ ความเข้มแห่งการส่องสว่างในทิศทางที่กำหนดให้ของแหล่งกำเนิดซึ่งแผ่รังสีเอกรงค์ด้วยความถี่ 540×10^{12} เฮิรตซ์ และมีความเข้มของการแผ่รังสีในทิศ**

ทางนั้นเท่ากับ 1/683 วัตต์ต่อสเตอเรเดียน

8.2 มาตรฐานทางแสง

เป็นที่ยอมรับกันว่าความเจริญก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมนั้น ความสามารถในการวัดและเทคโนโลยีของการวัดปริมาณทางกายภาพ(Physical Quantities) ได้ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำหรือใกล้เคียงความจริงมากที่สุด นับว่ามีความสำคัญยิ่งต่อความเจริญและการพัฒนา

การที่จะทำให้มีความเชื่อมั่นว่าปริมาณที่ตรวจวัดนั้นมีความถูกต้องเพียงใด มีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่แท้จริงเท่าใด ย่อมต้องอาศัยระบบมาตรฐานที่เกี่ยวข้องเป็นหลักในการอ้างอิง ดังนั้นประเทศที่พัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมจึงได้จัดทำระบบมาตรฐานอ้างอิงแห่งชาติขึ้น (National Reference Standards) โดยการพัฒนาจาก Primary Standard เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในระบบมาตรฐานการวัดแห่งชาติ

ระบบมาตรฐานอ้างอิงแห่งชาติ โดยทั่วไปได้แบ่งมาตรฐานออกเป็น 3 ระดับ คือ

- Primary Standard
- Secondary Standard
- Working Standard

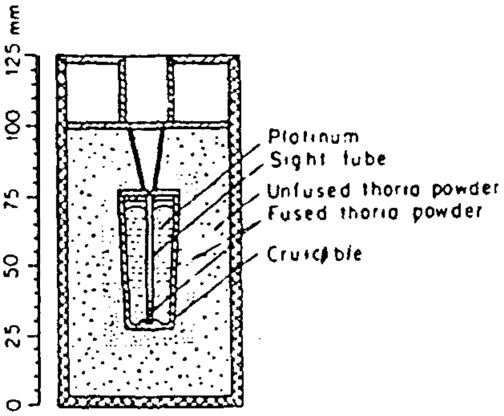
สำหรับมาตรฐานทางแสงทั้ง 3 ระดับดังกล่าวได้จัดขึ้น ดังนี้

มาตรฐานปฐมภูมิทางแสง (Primary Standard of Photometry) ได้จัดทำขึ้นโดยอาศัยนิยามของหน่วยวัดความเข้มแห่งการส่องสว่าง คือ แคนเดล่า

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2491 จนถึงปี พ.ศ. 2522 Primary Standard ทางแสงสำหรับ National Standards ของประเทศที่พัฒนาแล้ว คือ Cavity Radiator หรือ Black body ที่อุณหภูมิจุดหลอมเหลวของแพลททินัม (2045 K) เพราะสามารถทำให้ปรากฏการณ์เช่นเดิมได้ทุกครั้ง (Reproducibility) จึงเหมาะสมที่จะใช้เพื่อรักษา (maintaining) หน่วยวัดแคนเดล่า (candela, cd) ซึ่งเป็นหน่วยรากฐานทางแสงได้ดี โดยมีนิยามดังนี้ **แคนเดล่า หมายถึง ความเข้มแห่งการส่องสว่างในทิศทางที่ตั้งฉาก**

กับพื้นผิวขนาด 1/600,000 ตารางเมตรของวัตถุดำ (black body) ซึ่งมีอุณหภูมิที่จุดแข็งตัวของแพลททินัมภายใต้ความกดดัน 101 325 นิวตันต่อตารางเมตร

ส่วนประกอบของวัตถุดำดังแสดงในรูปที่ 8.1 โดยการให้ความร้อนแก่แพลททินัม และ crucible ด้วยวิธีเหนี่ยวนำด้วยความถี่สูง (High frequency induction) จนแพลททินัมหลอมละลายหมดและมีอุณหภูมิสูงกว่า 2045 เคลวินเล็กน้อย จึงค่อยๆ ลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ โดยวิธีลดพลังงานที่ให้แก่วัตถุดำ เมื่อแพลททินัมหลอมเหลวมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดแข็งตัว อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ ซึ่งถ้าหากควบคุมพลังงานที่ให้แก่วัตถุดำให้เหมาะสม จะทำให้ได้อุณหภูมิคงที่ที่จุดแข็งตัวของแพลททินัมเป็นเวลานานพอสมควร ทำให้สามารถใช้อุณหภูมิที่จุดนี้เป็นอุณหภูมิที่ให้กำเนิดรังสี (radiation) ที่ใช้เป็นมาตรฐานทางแสงและรังสีได้ และสามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้แน่นอนทุกครั้งตามที่ต้องการ



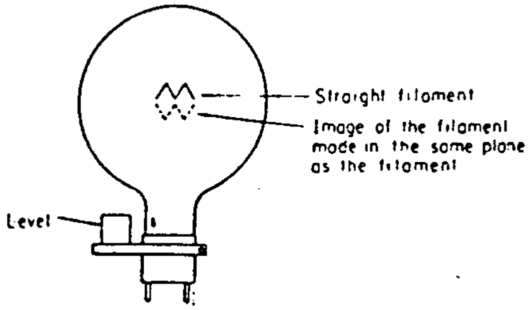
รูปที่ 8.1 วัตถุดำ

อย่างไรก็ตามเนื่องจากการรักษาหน่วย "แคนเดล่า" ให้เป็นที่ยอมรับในความถูกต้อง (Realization) ด้วยวัตถุดำมีความยุ่งยาก ไม่สะดวกในทางปฏิบัติและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง ประกอบกับในระยะหลังได้มีการพัฒนาเทคนิคการวัดรังสีมาใช้กับการวัดแสงได้มากยิ่งขึ้น ในที่ประชุมครั้งที่ 16 ของ General Conference of Weights and Measures (CGPM) ในปี พ.ศ. 2522 จึงได้บัญญัตินิยามของแคนเดล่าขึ้นใหม่ (ดูนิยามของแคนเดล่าจาก 8.1) จากนิยามดังกล่าว ห้องปฏิบัติการมาตรฐานต่างๆ จะสามารถ

ใช้ Monochromatic Radiator เป็น Primary Standard ทางแสงแทน Black body ซึ่งจะเป็นการเปิดโอกาสให้ห้องปฏิบัติการสามารถเลือกการจัดทำ Primary Standard ของแต่ละห้องปฏิบัติการนั้นๆ และไม่เป็นการกระทบกระเทือนต่อห้องปฏิบัติการที่รักษาหน่วยแคนเดล่าด้วย Black body แต่อย่างใด และห้องปฏิบัติการมาตรฐานที่มี Realization ด้วย Black body ก็ยังคงใช้ได้เหมือนเดิม

หลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Lamp) เนื่องจากการใช้ Black body เพื่อการรักษาหน่วยวัดรากฐานทางแสง คือ แคนเดล่า มีความไม่สะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงดังกล่าวแล้ว นักมาตรวิทยาทางแสงจึงได้จัดทำหลอดไฟมาตรฐานขึ้นมาใช้แทน เรียกว่า **Seconlary Standard Lamp** โดยทำหลอดไฟขึ้นมาเป็นพิเศษแล้วนำมาสอบเทียบกับ Primary Standard หรือ Black body สำหรับใช้งานเพื่อการถ่ายทอดมาตรฐาน (Traceability of Standard) และการสอบเทียบมาตรฐานขั้นรองลงไป

หลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิเป็นหลอดไฟที่สร้างขึ้นเป็นพิเศษ มีความแข็งแรงกว่าหลอดไฟที่ผลิตเพื่อใช้งานโดยทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจับยึดไส้หลอดต้องมั่นคงแข็งแรง กระเปาะแก้วกลมและใสสะอาด ปราศจากริ้วรอยและมีการสัมผัสทางไฟฟ้าที่ดี ลักษณะของหลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิแสดงไว้ในรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 หลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิ

เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการถ่ายทอดมาตรฐาน เช่น การถ่ายทอดค่ามาตรฐานระหว่างประเทศ (International Comparison) และการสอบ

เทียบมาตรฐานระหว่างห้องปฏิบัติการภายในประเทศ นักมาตรวิทยาทางแสงจึงได้จัดทำ Secondary Standard Lamp เป็น 2 ประเภท คือ Secondary Luminous Intensity Standard Lamp และ Secondary Luminous Flux Standard Lamp

8.2.1 **มาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง** หลอดไฟมาตรฐานสำหรับความเข้มของการส่องสว่างได้จัดทำขึ้นเป็นพิเศษ มีการจับยึดไส้หลอดมั่นคงแข็งแรง ไส้หลอดอยู่ในระนาบเดียวในแนวดิ่งเพื่อให้การกระจายแสงในทิศทางที่ต้องการวัดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ กระเปาะแก้วเป็นรูปทรงกลมมีขนาดใหญ่พอสมควร ความหนาของแก้วสม่ำเสมอกันโดยตลอด และปราศจากรอยหรือตำหนิ ก่อนสอบเทียบกับ Primary Standard ต้องได้รับการบ่ม (Ageing) เรียบร้อยแล้ว

8.2.2 **มาตรฐานฟลักซ์ของการส่องสว่าง** หน่วยฟลักซ์ของการส่องสว่าง คือ ลูเมน (lumen, lm) ซึ่งมีนิยามดังนี้ **ลูเมน คือ ปริมาณแสงในมุมเชิงของแข็ง 1 สเตอเรเดียนที่เปล่งจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของการส่องสว่าง 1 แคนเดล่า** ดังนั้นในการวัดฟลักซ์ของการส่องสว่างของหลอดไฟมาตรฐาน ก็คือการวัดความเข้มของการส่องสว่างในทิศทางโดยรอบของหลอดไฟมาตรฐานฟลักซ์ของการส่องสว่าง โดยเปรียบเทียบกับหลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง ซึ่งเรียกวิธีนี้ว่า Distribution Photometry

หลอดไฟมาตรฐานฟลักซ์ของการส่องสว่าง ทำขึ้นเป็นพิเศษเช่นเดียวกับหลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง จะแตกต่างที่ลักษณะของไส้หลอด คือ ต้องทำให้มีการกระจายแสงในทิศทางต่างๆ โดยรอบหลอดอย่างสม่ำเสมอ ไส้หลอดจึงทำเป็นลักษณะคล้ายเกือกม้ามีจุดศูนย์กลางอยู่ที่แกนหลอดและทำด้วย Coiled filament หรือ Coiled coil filament

หลอดไฟมาตรฐานใช้งาน (Working Standard Lamp)

หลอดไฟมาตรฐานใช้งาน คือ หลอดไฟมาตรฐานซึ่งมีระดับรองลงมาจากหลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิ สำหรับใช้ในการทดสอบหรือการวัดแสงประจำวันของห้องปฏิบัติการ หรือหน่วยตรวจสอบคุณภาพ

หลอดไฟมาตรฐานใช้งานอาจเป็นหลอดที่ทำขึ้นเป็นพิเศษเช่นเดียวกับหลอดไฟ

มาตรฐานทุติยภูมิ แต่มีข้อจำกัดน้อยกว่าหรืออาจคัดเลือกจากหลอดไฟที่ได้จากสายการผลิต โดยต้องผ่านเกณฑ์การคัดเลือกที่กำหนดและตามชนิดของหลอดไฟ แล้วจึงนำมาสอบเทียบกับหลอดไฟมาตรฐานทุติยภูมิ และหลังจากถูกจุดหลอดโดยการใช้งานตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว จะต้องได้รับการสอบเทียบใหม่อย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพื่อประกันความถูกต้องของการวัด

8.3 การวัดความเข้มทางแสง

การวัดความเข้มของการส่องสว่าง (I_v) เป็นการวัดโดยอาศัยกฎของ Inverse Square Law คือ

$$I_v = E_v . d^2 \qquad (cd) \qquad \ldots\ldots (1)$$

เมื่อ E_v = ค่าความสว่าง (Illuminance) (lux)

d = ระยะห่างระหว่างหลอดทดสอบถึงตัวรับแสงของ Photometer (เมตร)

การจัดอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ มีดังต่อไปนี้

8.3.1 **อุปกรณ์การทดสอบ** ประกอบด้วย

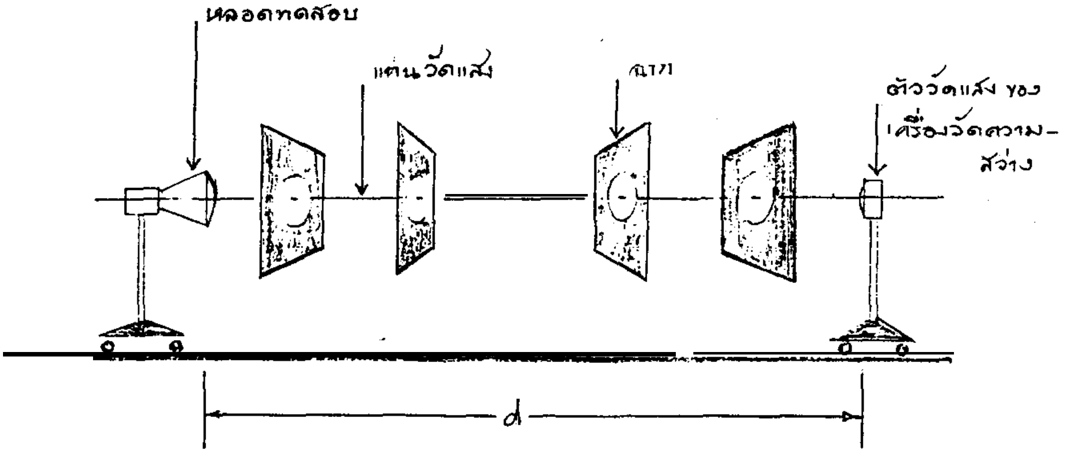
- โต๊ะวัดแสง (Photometric Bench)
- ตัวรับแสง (Sensor) ที่ได้รับการสอบเทียบแล้ว
- เครื่องวัดความสว่างที่ได้รับการสอบเทียบแล้ว
- ฉากบังแสง
- อุปกรณ์สำหรับปรับตั้งจุดศูนย์กลางแสงและจุดศูนย์กลางผิวหน้าของตัวรับแสง

8.3.2 **การทดสอบ**

โดยการติดตั้งหลอดทดสอบเข้ากับขั้วรับหลอดบนโต๊ะวัดแสง ปรับให้ระนาบของผิวหน้าหลอดอยู่ในระนาบตั้งโดยอาศัยเส้นตรงในแนวดิ่งข้างโต๊ะวัดแสง ต่อไปจึงติดตั้งตัวรับแสงบนโต๊ะวัดแสง แล้วปรับระนาบผิวหน้าของตัวรับแสงให้ตั้งฉากกัน และอยู่บนแกนของการวัดแสง (Photometric Axis) ดังแสดงในรูปที่ 8.3

ต่อไปจุดหลอดด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงที่ตามที่กำหนดของหลอด ปรับฉากเพื่อให้ลำแสงที่ตกกระทบตัวรับแสง เป็นลำแสงที่กว้างเฉพาะที่จะครอบคลุมผิวหน้าตัว

รับแสง แล้วปรับระยะห่างระหว่างผิวหน้าหลอดทดสอบ กับผิวหน้าของตัวรับแสงจนอ่านค่าความสว่างได้ชัดเจน โดยใช้สเกลที่มีความถูกต้องสูงที่สุดของเครื่องวัดความสว่างนั้น



รูปที่ 8.3 การจัดเครื่องมือสำหรับทดสอบหลอดไฟความเข้มของการส่องสว่าง

ความเข้มของการส่องสว่างของหลอดไฟประเภทนี้จะมีค่าสูงสุดในบริเวณพื้นที่ที่ทำมุมกับจุดศูนย์กลางแสงของหลอดไฟประมาณ 2 องศา ดังนั้นการปรับหลอดไฟทดสอบเพื่อให้ผิวหน้าของหลอดตั้งฉากกับแกนของการวัดแสงที่จุดศูนย์กลางของผิวหน้าหลอดอย่างแท้จริง จึงมีความสำคัญมาก

เพื่อให้มีความมั่นใจว่าการปรับตั้งหลอดมีความถูกต้องมากที่สุด ให้ปรับตั้งหลอดและวัดซ้ำหลายๆ ครั้ง ค่าที่วัดได้สูงที่สุดควรจะเป็นค่าที่ถูกต้องมากที่สุด

8.4 การวัดฟลักซ์ทางแสง

การวัดฟลักซ์ของการส่องสว่าง (ϕ_t) ของหลอดไฟ เป็นการวัดโดยวิธี Integrating Photometry ซึ่งใช้ได้ดีกับหลอดทุกชนิด คือ หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent Lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) และ หลอด

gas-discharge อื่นๆ โดยใช้ Integrating Sphere ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.50 เมตร

การวัดฟลักซ์ของการส่องสว่างด้วยวิธี Integrating Photometry เป็นการวัดโดยการเปรียบเทียบกับหลอดไฟมาตรฐาน โดยจุดหลอดทดสอบและหลอดมาตรฐานไว้ที่จุดศูนย์กลางของ Sphere วัด Photoelectric Voltage ของหลอดทั้งสอง และคำนวณฟลักซ์ของการส่องสว่างของหลอดทดสอบ (ϕ_t) ได้จาก

$$\phi_t = (V_t/V_s) \times \phi_s \qquad \ldots\ldots (2)$$

เมื่อ V_s = Photoelectric Voltage วัดจากหลอดมาตรฐาน

V_t = Photoelectric Voltage วัดจากหลอดทดสอบ

ϕ_s = ฟลักซ์ของการส่องสว่างของหลอดมาตรฐาน

ข้อที่ควรระมัดระวัง คือ อุณหภูมิภายใน Sphere ขณะที่ทำการวัดจะต้องอยู่ที่อุณหภูมิที่กำหนด และหลอดไฟทั้งหลอดมาตรฐานและหลอดทดสอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ จะต้องวัดเมื่อจุดหลอดจนคงที่แล้ว (มากกว่า 15 นาที)

เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด gas-discharge จะต้องวัดฟลักซ์ของการส่องสว่าง และกำลังไฟฟ้าของหลอดแล้ว ยังจำเป็นต้องวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าอื่นๆ เช่น แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมหลอด และกระแสไฟฟ้าผ่านหลอดอีกด้วย จึงจำเป็นที่จะต้องแยกวิธีทดสอบหลอดไฟฟลักซ์ของการส่องสว่างออกเป็น 2 วิธี คือ การทดสอบหลอดอินแคนเดสเซนต์ การทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอด gas-discharge

8.4.1 การวัดฟลักซ์ของการส่องสว่างของหลอดอินแคนเดสเซนต์

อุปกรณ์การวัด ประกอบด้วย

1. ลูกกลมวัดแสง (Integrating Sphere) เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร
2. D.C. Power Supply
3. Digital multimeter
4. Standard Resistance 0.1 Ω
5. Photo Receiver

6. หลอดอินแคนเดสเซนต์มาตรฐานปฐมภูมิ

7. หลอดอินแคนเดสเซนต์มาตรฐานทุติยภูมิ

วิธีทดสอบ ก่อนอื่นต้องทำให้อุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง 22°C ถึง 23°C จากนั้นให้ warm ลูกกลมวัดแสงโดยใช้หลอดที่ไม่เกี่ยวกับการทดสอบมาจุดให้เกิดแสงสว่างในลูกกลมวัดแสงเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อไล่ความชื้น และให้อุณหภูมิภายในลูกกลมวัดแสงอยู่ระหว่าง 25°C ± 1°C แล้วดำเนินการ ดังนี้

1. ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 1 ในลูกกลมวัดแสง ปรับ Source Voltage ให้ได้ตาม Rated Voltage ของหลอด แล้ว warm หลอดเป็นเวลา 5 นาที
2. วัด Photo current (Volt) แล้วบันทึกไว้
3. โยก Switch ไปทาง E (ดูรูปที่ 8.4) วัด Lamp Voltage และบันทึกไว้
4. โยก Switch ไปทาง I วัด Lamp Current และบันทึกไว้
5. รอหนึ่งนาทีหลังจากวัดตามข้อ 4 แล้วทำตามข้อ 2, 3 และข้อ 4
6. ถอดหลอดมาตรฐานหลอดที่ 1 ออก ใส่หลอดที่ต้องการทดสอบเข้าแทนที่ แล้วทำตามข้อ 1 ถึงข้อ 5
7. คำนวณหาค่า Lamp Wattage ที่ต้องการ จากค่าเฉลี่ยของ Lamp Voltage และ Lamp Current ที่วัดได้
8. ถอดหลอดทดสอบหลอดที่ 1 ออก ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 2 แทนแล้ว ทำตามข้อ 1 ถึงข้อ 5
9. ถอดหลอดมาตรฐานหลอดที่ 2 ออก และใส่หลอดทดสอบหลอดที่ 2 แทน ทำตามข้อ 1 ถึงข้อ 5 และข้อ 7
10. ถอดหลอดทดสอบหลอดที่ 2 ออก ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 3 แทน แล้ว ทำตามข้อ 1 ถึงข้อ 5

<u>หมายเหตุ</u> ตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 10 เป็นวิธีการทดสอบหลอดไฟจำนวน 2 หลอด ซึ่งจำเป็นต้องใช้หลอดมาตรฐานถึงสามหลอด ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวก็พอ

11. นำค่าที่วัดและคำนวณได้ของแต่ละหลอดทั้งสองครั้งมาหาค่าเฉลี่ย และบันทึกไว้ ฟลักซ์ของการส่องสว่างให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยของ Photocurrent ของหลอดมาตรฐาน และหลอดที่ทดสอบ จากสูตร ดังนี้

$$\phi_t = \phi_s \cdot (I_t/I_s) \qquad \ldots\ldots (3)$$

เมื่อ ϕ_t = Luminous flux ของหลอดที่นำมาทดสอบ

ϕ_s = Luminous flux ของหลอดมาตรฐาน

I_t = Photocurrent ของหลอดทดสอบ

I_s = Photocurrent ของหลอดมาตรฐาน

การหาค่าฟลักซ์ของการส่องสว่าง ตามสูตร (3) ใช้เมื่อขนาดและลักษณะของหลอดมาตรฐานและหลอดที่นำมาทดสอบเหมือนกันทุกประการ แต่ถ้าขนาดและลักษณะของหลอดไม่เหมือนกัน จะต้องหาค่า Absorption ก่อน

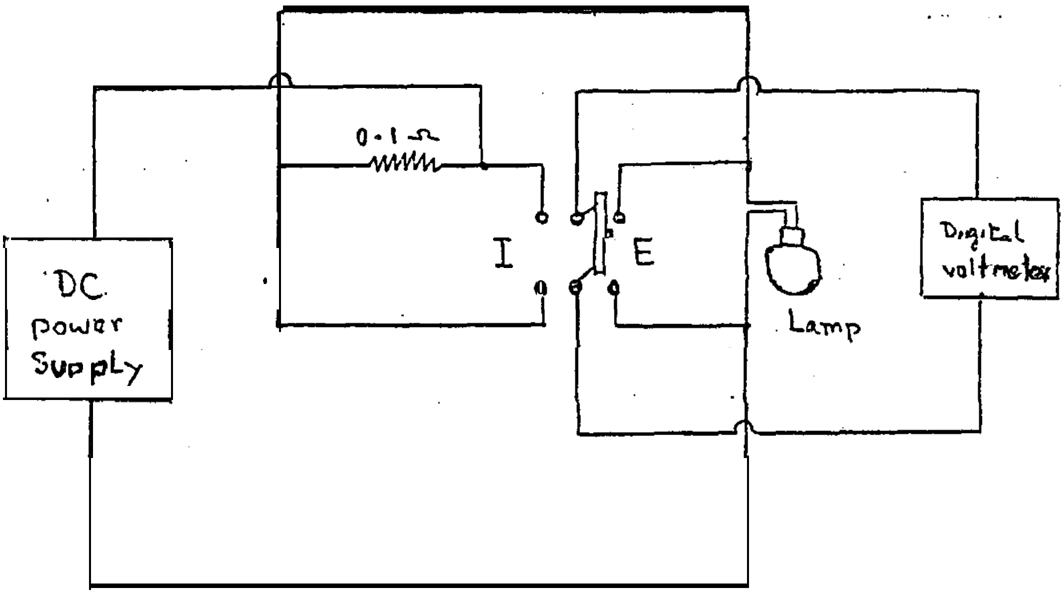
12. การหาค่า Absorption ใส่หลอดมาตรฐานในลูกกลมวัดแสงแต่ไม่ต้องป้อน Source Voltage ให้กับหลอด แต่ป้อน Source Voltage ให้แก่หลอดอินแคนเดสเซนต์ที่อยู่ส่วนล่างของลูกกลมวัดแสง วัด Photocurrent (Volt) แล้วบันทึกไว้

13. ถอดหลอดมาตรฐานออก แล้วใส่หลอดทดสอบแทนที่ ทำตามข้อ 12 บันทึก Photocurrent (Volt) ไว้ Absorption หาได้จาก

$$\text{Absorption (R)} = \frac{\text{Photocurrent เมื่อใส่หลอดมาตรฐาน}}{\text{Photocurrent เมื่อใส่หลอดทดสอบ}}$$

ดังนั้น

$$\phi_t = \phi_s \times (I_t/I_s) \times R \qquad \ldots\ldots (4)$$



รูปที่ 8.4 วงจรสำหรับหลอดอินแคนเดสเซนต์

8.4.2 การวัดฟลักซ์ของการส่องสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอด gas-discharge

หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอด gas-discharge โดยทั่วไปจะใช้ควบคู่กับอุปกรณ์จุดหลอดและจำกัดกระแสไฟฟ้า ที่เรียกว่า บัลลาสต์ หรือ เกียร์ (Gear) และจุดหลอดด้วยไฟฟ้ากระแสสลับขนาดแรงดันตามที่กำหนดของบัลลาสต์หรือของเกียร์ที่เหมาะสมกับหลอดนั้น

สำหรับบัลลาสต์หรือเกียร์ที่ใช้ในการทดสอบหลอดไฟ จะต้องเป็นบัลลาสต์ที่ทำขึ้นเป็นพิเศษ มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าเป็นไปตามที่กำหนดของ IEC ซึ่งเรียกบัลลาสต์นี้ว่า บัลลาสต์อ้างอิง (Reference ballast) ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบสามารถเปรียบเทียบกันได้ทุกๆ หน่วยทดสอบ

อุปกรณ์การวัด ประกอบด้วย

1. Integrating Sphere มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร
2. AC Voltage Regulator

3. AC Voltmeter

4. AC **Milliammeter**

5. AC Wattmeter

6. Digital multimeter

7. Photo Receiver

8. Primary standard fluorescent lamp for luminous flux

9. Secondary Standard fluorescent lamp for luminous flux

วิธีทดสอบ ก่อนทำการทดสอบต้องให้อุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง 22°C ถึง 23°C ต่อจากนั้น warm ลูกกลมวัดแสงโดยใช้หลอดที่ไม่เกี่ยวกับการทดสอบมาจุดให้เกิดแสงสว่างในลูกกลมวัดแสงเป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้น และให้อุณหภูมิภายในของลูกกลมวัดแสงอยู่ระหว่าง 25°C ± 1°C และต่ออุปกรณ์ดังวงจรที่แสดงในรูปที่ 8.5

1. ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 1 ในลูกกลมวัดแสง ปรับ Source Voltage ให้ได้ตาม Voltage ที่ระบุของ Reference ballast ให้ warm เครื่องเป็นเวลา 15 นาที

2. เปิด Switch ของ Lamp Wattage แล้วปรับ Source Voltage ให้ Wattmeter ได้ตาม Wattage ของหลอด

3. ปิด Switch ของ Lamp Wattage, Lamp Voltage และ Lamp Current เพื่อวัด Photo current

<u>**หมายเหตุ**</u> การวัด Photo current ต้องปิด Switch ทุกๆ Switch ยกเว้น Source Voltage และถ้าจะวัด **Lamp** Voltage, **Lamp** Current ให้เปิดเฉพาะ Switch ที่ต้องการจะวัดเท่านั้น

4. รอไปอีก 5 นาที นับแต่เริ่มจากข้อ 3 แล้ว ทำตามข้อ 2 และข้อ 3 ตามลำดับ

5. ถอดหลอดมาตรฐานหลอดที่ 1 ออก นำหลอดที่ต้องการทดสอบหลอดที่ 1 ใส่แทนที่ แล้วทำตามข้อ 1

6. วัด Photo current และบันทึกไว้

7. เปิด Switch ของ Lamp Wattage เพื่อวัด Lamp Wattage

8. ปิด Switch ของ Lamp Wattage และเปิด Switch ของ Lamp Current เพื่อวัด Lamp Current

9. ปิด Switch ของ Lamp Current และเปิด Switch ของ Lamp Voltage เพื่อวัด Lamp Voltage

10. รอไปอีก 5 นาที แล้วทำตามข้อ 6 จนถึงข้อ 9

11. ถอดหลอดที่ต้องการทดสอบหลอดที่ 1 ออก ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 2 แทนที่ และทำตามข้อ 1 จนถึงข้อ 4

12. ถอดหลอดมาตรฐานหลอดที่ 2 ออก ใส่หลอดที่ต้องการทดสอบหลอดที่ 2 แทนที่ แล้วทำตามข้อ 1 และข้อ 6 ถึงข้อ 10

13. ถอดหลอดที่ต้องการทดสอบหลอดที่ 2 ออก ใส่หลอดมาตรฐานหลอดที่ 3 แทนที่ แล้วทำตามข้อ 1 ถึงข้อ 4

หมายเหตุ ตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 13 เป็นกรณีที่ต้องการทดสอบหลอดไฟเพียงสองหลอด ซึ่งจะต้องใช้หลอดมาตรฐานถึงสามหลอด ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวก็เพียงพอ

14. นำค่าต่างๆ ที่วัดได้ของแต่ละหลอดทั้งสองครั้งมาหาค่าเฉลี่ย และบันทึกไว้ โดยเฉพาะ Photo current จะต้องนำมาคำนวณหาค่า Luminous flux อีกครั้งหนึ่ง กล่าวคือ เมื่อหาค่าเฉลี่ยของ Photo current ของหลอดมาตรฐานและหลอดที่นำมาทดสอบแล้ว ให้นำมาหาค่า Luminous flux ซึ่งมีหน่วยเป็น lumen ดังนี้

$$\phi_t = \phi_s \times (I_t/I_s)$$

เมื่อ ϕ_t = Luminous flux ของหลอดที่ต้องการทดสอบ

ϕ_s = Luminous flux ของหลอดมาตรฐาน

I_t = Photo current เฉลี่ยของหลอดที่ต้องการทดสอบ

I_s = Photo current เฉลี่ยของหลอดมาตรฐาน

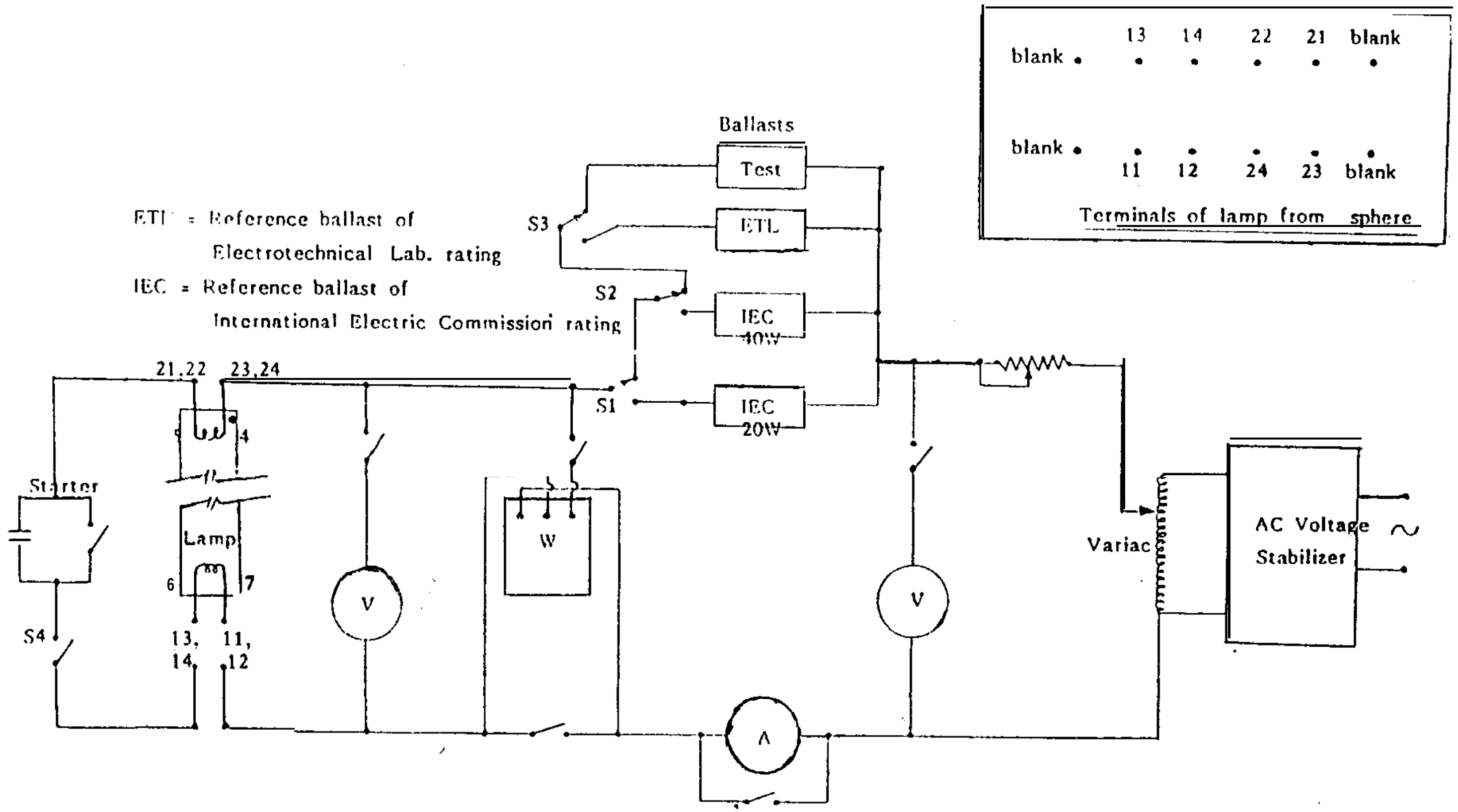
การหาค่า Luminous flux ตามสูตร ใช้เมื่อขนาดและลักษณะของหลอดมาตรฐานและหลอดที่นำมาทดสอบเหมือนกันทุกอย่าง ถ้าขนาดและลักษณะของหลอดไม่เหมือนกัน ต้องหาค่า Absorption เสียก่อน

15. การหา Absorption ใส่หลอดมาตรฐานในลูกกลมวัดแสง ไม่ต้องป้อน Source Voltage แต่ป้อน Source Voltage ให้แก่หลอดอินแคนเดสเซนต์ที่อยู่ส่วนล่างของลูกกลมวัดแสง วัด Photocurrent และบันทึกไว้

16. ถอดหลอดมาตรฐานออก และใส่หลอดที่ต้องการทดสอบ ทำตามข้อ 15 และบันทึก Photocurent

$$\text{Absorption (R)} = \frac{\text{Photocurrent ของหลอดมาตรฐาน}}{\text{Photocurrent ของหลอดที่ต้องการทดสอบ}}$$

ดังนั้น $\phi_t = \phi_s \times (I_t/I_s) \times R$



รูปที่ 8.5 วงจรการต่ออุปกรณ์การวัดและจุดหลอดสำหรับการทดสอบหลอดฟลูออเรสเซนต์

8.5 การสอบเทียบเครื่องวัดความเข้มทางแสงและฟลักซ์ทางแสง

เครื่องมือวัดแสง ได้แก่ เครื่องวัดความสว่าง (Illuminance Meter หรือ Lux Meter) ซึ่งเป็นเครื่องวัดแสงที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุด การที่จะวัดค่าความสว่างได้โดยไม่อาจระบุค่า Accuracy ของค่าที่วัดได้นั้นย่อมไม่มีประโยชน์แต่อย่างใด ค่าที่วัดได้จะเป็นค่าที่น่าเชื่อถือก็ต่อเมื่อสามารถระบุได้ว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ซึ่งการที่จะทำเช่นนี้ได้เครื่องวัดแสงนั้นๆ จะต้องได้รับการสอบเทียบกับมาตรฐานโดยสม่ำเสมอ

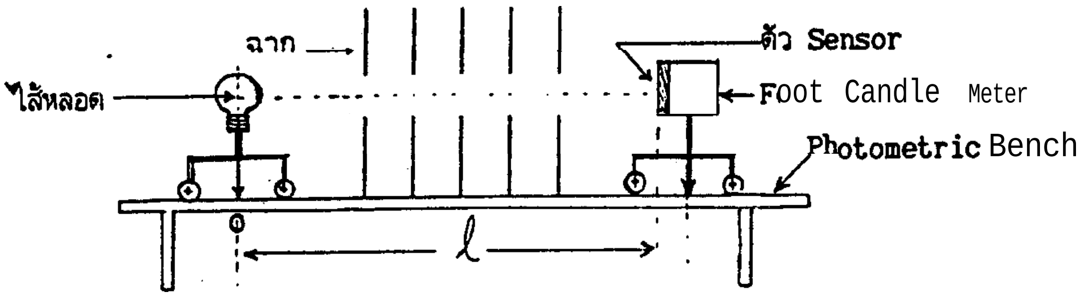
8.5.1 **เครื่องมือที่ใช้** ประกอบด้วย

1. โต๊ะวัดแสง (Photometric Bench) ความยาว 3 เมตร พร้อมอุปกรณ์

2. หลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous Intensity Standard Lamp) ซึ่งมีอุณหภูมิ 2,856 K

3. D.C. Power supply Accuracy ± 0.01%

8.5.2 **การจัดเครื่องมือ** จัดอุปกรณ์ตามรูปที่ 8.6 โดยใช้ตัวรับแสง (Sensor) ของเครื่องวัดความสว่างเป็นตัวรับแสงในการวัดนี้



รูปที่ 8.6 การสอบเทียบเครื่องวัดแสง Lux Meter

8.5.3 **การสอบเทียบ** ก่อนที่จะทำการสอบเทียบ Lux Meter จะต้องทำการคัดเลือกหลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่างที่มีค่าความเข้มพอที่จะสอบเทียบ Lux Meter ตัวนั้นได้ ตลอดย่านของเครื่องวัด แล้วนำมาคำนวณหาระยะทางของแต่ละจุดที่เรา

ต้องการวัดตามสูตร แล้วบันทึกไว้ จากนั้นนำหลอดไฟมาตรฐานที่ได้เลือกไว้ใส่ที่ขั้วรับหลอดบนโต๊ะวัดแสงโดยให้ระนาบของไส้หลอดอยู่ตรงกับตำแหน่ง 0 (ศูนย์) และให้ระนาบของไส้หลอดตั้งฉากกับโต๊ะวัดแสง และให้ตั้งระยะของ Lux Meter จากตำแหน่ง 0 (ศูนย์) จนถึงตัวรับแสง (Sensor) ให้ตรงกับค่าที่เราได้คำนวณไว้ของแต่ละจุด แต่ในทางปฏิบัติระยะห่างจากตำแหน่ง 0 (ศูนย์) ถึงตัว Sensor จะตั้งได้ยากเพราะไม่มีเครื่องหมายบอกตำแหน่ง ตำแหน่งที่ตั้งได้ง่ายคือตำแหน่งที่ปลายลูกศรของแกนหลักที่ยึด Lux Meter ฉะนั้นตำแหน่งที่ตั้งได้ง่ายคือระยะทางจากตำแหน่ง 0 (ศูนย์) ถึงตัว Sensor + ระยะจากตัว Sensor ถึงปลายลูกศรของแกนยึด Lux Meter

สมมติว่า เราคำนวณค่าที่ต้องการวัดได้ระยะ 100 เซ็นติเมตร และระยะจากตัว Sensor ถึงปลายลูกศร (กึ่งกลางของแกนยึด) เท่ากับ 10 เซ็นติเมตร ฉะนั้นค่าที่แท้จริงที่ต้องการตั้งเท่ากับ 100 + 10 = 110 เซ็นติเมตร

ปรับ D.C. Power supply ให้ได้ Voltage ตามที่กำหนดไว้บนกล่องใส่หลอดไฟมาตรฐานที่มีอุณหภูมิ 2,856 K จุดหลอดทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที ต่อจากนั้นเลื่อน Lux Meter ไปตามระยะที่ต้องการวัด ทำซ้ำกัน 2 ครั้ง ถ้าค่าที่อ่านได้ผิดไปจากค่า accuracy ของเครื่อง ก็ทำการปรับที่ตัวปรับในเครื่อง Lux Meter เพื่อชดเชยให้ผิดพลาดน้อยที่สุด

การสอบเทียบ Lux Meter โดยปกติใช้สอบเทียบกับหลอดไฟมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่างโดยการปรับระยะห่างระหว่าง Photoreceiver ให้อ่านค่าความสว่างของแต่ละสเกลของเครื่องวัด จำนวน 4 จุด คือ ที่ 0.3, 0.5, 0.7 ของ Full scale และที่ Full scale สำหรับค่าที่แท้จริงของความสว่างแต่ละจุดที่ตรวจวัดคำนวณได้จากกฎของ Inverse Square Law คือ

$$E_v = I_v/d^2$$

เมื่อ E_v = ความสว่าง มีหน่วยเป็น ลักซ์

I_v = ความเข้มของการส่องสว่างของหลอดไฟมาตรฐาน มีหน่วยเป็น แคนเดล่า

d = ระยะห่างระหว่างระนาบของไส้หลอดกับผิวหน้าของตัวรับแสง มีหน่วยเป็นเมตร

ค่าความสว่างที่วัดได้ เปรียบเทียบกับค่าความสว่างที่ได้จากการคำนวณ จะสามารถบอกได้ว่า เครื่องวัดแสงมีความถูกต้องในการวัดเพียงใด

ตัวอย่าง สมมติว่าเราต้องการที่จะให้ Lux Meter อ่านที่ 100 Lux และความเข้มของการส่องสว่างของหลอดไฟมาตรฐาน เท่ากับ 150 Candella

จากสูตร $E_v = I_v/d^2$

$100 = 150/d^2$

$\therefore d = \sqrt{150/100}$

$= 1.2247448$ เมตร

$= 122.5$ เซนติเมตร

ดังนั้น ระยะทางที่จะตั้งโดยใช้ปลายลูกศรเป็นหลัก $= 122.5 + 10$

$= 132.5$ เซนติเมตร