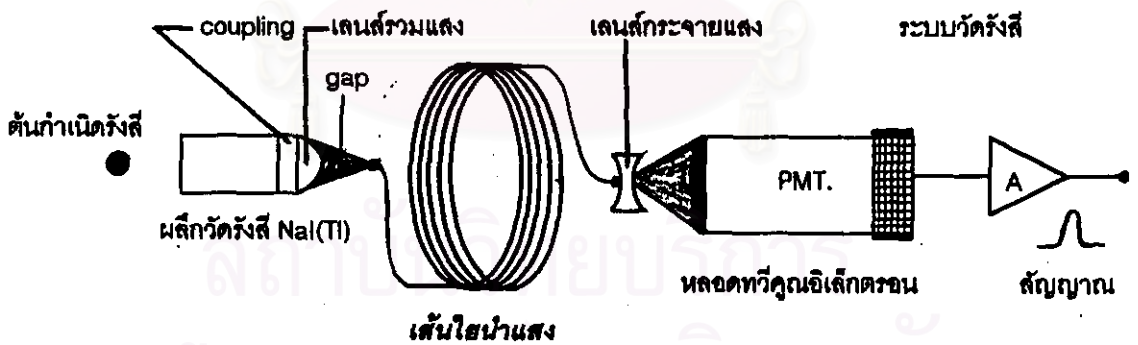
บทที่ 3

การพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 แนวทางในการส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีผ่านเส้นใยแสง

จากทฤษฎีการเกิดประกายแสงจากผลึกโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลียม) และการส่งคลื่นแสงผ่านเส้นใยแสงที่กล่าวมาแล้ว ทำให้เกิดแนวทางในการประยุกต์อุปกรณ์ส่งข้อมูลด้วยคลื่นแสง ในกลุ่มเส้นใยแสง มาใช้ในการส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีในระยะไกล โดยที่ท่อนำแสงชนิดนี้มีความอ่อนตัว ยังผลให้ผลึกวัดรังสีสามารถเคลื่อนที่ได้ในขอบเขตของความยาวของเส้นใยแสง ขณะที่หลอดทวีคูณอิเล็กตรอนติดตัวอยู่กับที่ในบริเวณที่เหมาะสม การจัดระบบส่งประกายแสงระยะไกลด้วยเส้นใยแสง แสดงได้ดังแผนภาพรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย 1) ระบบเลนส์ซึ่งทำหน้าที่โฟกัส (focus) ลำประกายแสงจากผลึกวัดรังสีลงบนปลายทางเข้าเส้นใยแสง 2) เส้นใยแสงที่ตอบสนองคลื่นแสงในย่านความยาวคลื่น 270-1900 nm. ได้ดี และ 3) ระบบเลนส์กระจายแสงที่ปลายทางออกของเส้นใยแสงสู่พื้นที่ไวแสงของโฟโตแคโทด



รูปที่ 3.1 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ส่งประกายแสง

จากแผนภาพในรูปที่ 3.1 สามารถวิเคราะห์ปัญหาการสูญเสีย ความเข้มของประกายแสงจากผลึกวัดรังสีซึ่งมีความยาวคลื่นในช่วงอุลตราไวโอเลต (UV) ในระบบส่งผ่านคลื่นแสงที่จะพัฒนาขึ้นได้ดังนี้

ก. ช่องว่างระหว่างเลนส์และปลายเส้นใยแสง หลังจากจัดระยะโฟกัสให้ได้ตามคุณสมบัติของเลนส์จะมีอากาศแทรกอยู่ จำเป็นต้องศึกษาผลกระทบของการสูญเสียปริมาณแสงจากความต่างดัชนีหักเหแสง และการดูดกลืนพลังงานแสงในย่านอุลตราไวโอเลตจากออกซิเจนในอากาศ[3]

ข. วัสดุที่ใช้ทำเลนส์และอุปกรณ์ส่งผ่านแสงที่ใช้ ต้องมีคุณสมบัติในการลดทอนความเข้มแสงในย่านนี้ไม่มากนัก ซึ่งวัสดุที่หาได้ง่ายจะได้แก่ แก้วกระจกและอะคริลิก (acrylic) ส่วนเลนส์จะเลือกเลนส์ในกลุ่ม ฟิวส์ซิลิกา (fused silica)

ค. การสูญเสียความเข้มแสงจากผลการสูญเสียปริมาณแสงในท่อนำแสงของเส้นใยแสงชนิดต่างๆ และที่ความยาวต่างกัน

ง. การกระจายแสงจากปลายทางออกของเส้นใยแสงสู่บริเวณผิวหน้าของโฟโตแคโทดของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

ในการศึกษาปัญหาการสูญเสียความเข้มแสงนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองผลกระทบของการสูญเสียความเข้มแสงของส่วนต่างๆ ซึ่งจะนำมาพัฒนาระบบการส่งประกายแสงระยะไกลดังนี้

1. อุปกรณ์ทดสอบผลการลดทอนความเข้มประกายแสงในอากาศ
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาผลการสูญเสียความเข้มแสงของวัสดุเชื่อมต่อ
3. อุปกรณ์วัดการสูญเสียความเข้มแสงของเส้นใยแสงชนิดต่างๆ
4. ระบบการส่งประกายแสงจากผลึกวัดโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ระยะไกลด้วยเส้นใยแสง

การพัฒนาระบบส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีระยะไกลด้วยเส้นใยแสงนี้ ได้เลือกหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน ชนิดรับแสงด้านปลาย (end window) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโฟโตแคโทด 2 นิ้ว ของบริษัท RCA รุ่น 5819 และเลือกผลึกวัด NaI(Tl) ของ CNEIC (China) รุ่น STA 101 A ขนาด 13x30 mm STA 101 A ขนาด 20x20 mm และ STA 101 A ขนาด 30x50 mm ดังในรูปที่ 3.2 ก. และข.

ก. หลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

ข. ผลึกวัดรังสี NaI(Tl)

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์หลักในการพัฒนาระบบส่งประกายแสงระยะไกล

ในการทดลองได้จัดหาเส้นใยแสง 4 ชนิดได้แก่ (รายละเอียดในภาคผนวก ก.ข. และค.)

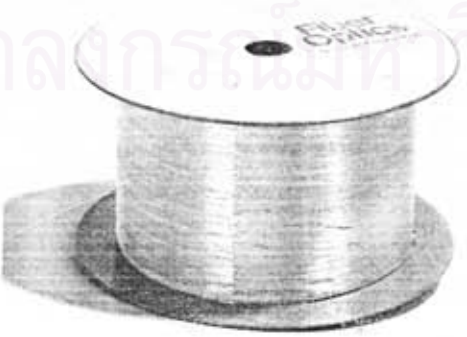
ก. เส้นใยแสงชนิดโหมดเดี่ยว รุ่น FC-3 ของบริษัท Sumitomo Co,Ltd.

ข. เส้นใยแสงแบบมัลติโหมด รุ่น FC2-UV ของบริษัท Newport Co,Ltd.

ค. เส้นใยแสงแบบแก้วมัดรวม รุ่น MSS5-1000S-UV ของบริษัท M-Control Co.Ltd.

ง. เส้นใยแสงแบบผลึกเหลวนำแสง รุ่น FC-77554 ของบริษัท Newport Co,Ltd.

ดังแสดงในรูปที่ 3.3



ก. เส้นใยแสงชนิด UV fiber optic

ข. เส้นใยแสงชนิดแก้วมัดรวมกัน (Glasses fiber optic bundles)

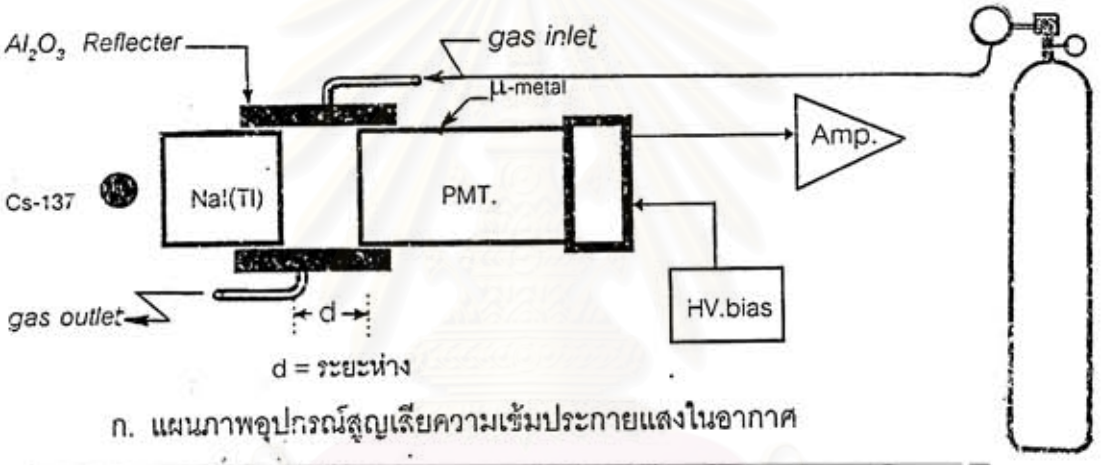
ค. เส้นใยแสงชนิดผลึกของเหลว (Liquid light guide)

รูปที่ 3.3 เส้นใยแสงที่ใช้ในการทดลอง

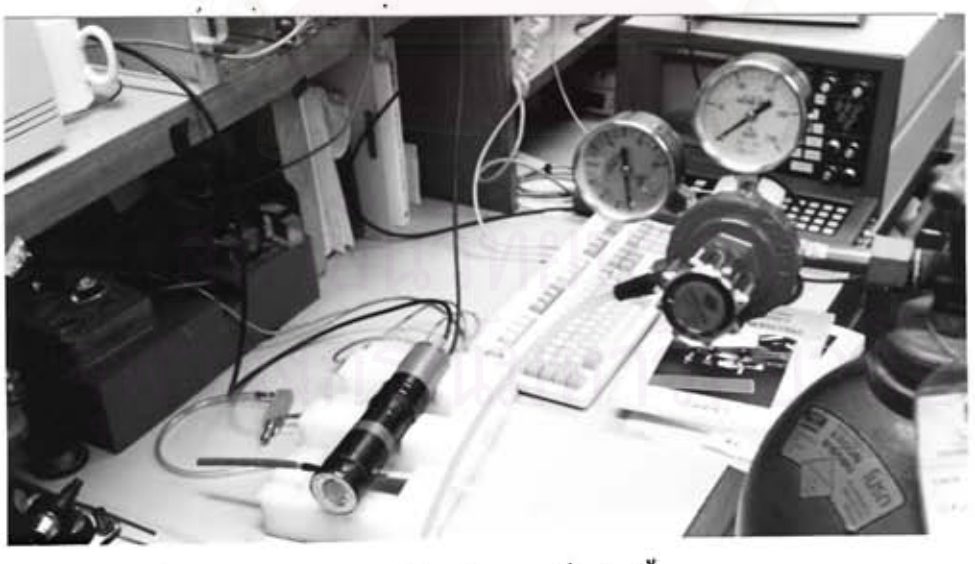
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 อุปกรณ์ทดลองผลการสูญเสียความเข้มประกายแสงในอากาศ

เนื่องจากบริเวณส่งผ่านประกายแสงที่ด้านปลายทั้ง 2 ของเส้นใยแสง เมื่อจัดระยะโฟกัสของเลนส์เพื่อควบคุมลำแสงจะเกิดช่องว่างระหว่างอุปกรณ์ขึ้น ณ บริเวณนี้ จะมีการสูญเสียปริมาณแสง จากผลการเลี้ยวเบนของคลื่นแสงและการดูดกลืนพลังงานแสงของโมเลกุลในอากาศ จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพในรูปที่ 3.4 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกระยะโฟกัสของเลนส์ และออกแบบระบบอุปกรณ์ทดลองนี้มีลักษณะเป็นวัสดุทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในพอดีกับผลึกวัดรังสีและหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน สามารถเลื่อนระยะของผลึกวัดรังสี NaI(TI) ได้ และเจาะช่องการเข้าออกของก๊าซไว้สำหรับปล่อยก๊าซ He เพื่อไล่อากาศออก



ก. แผนภาพอุปกรณ์สูญเสียความเข้มประกายแสงในอากาศ

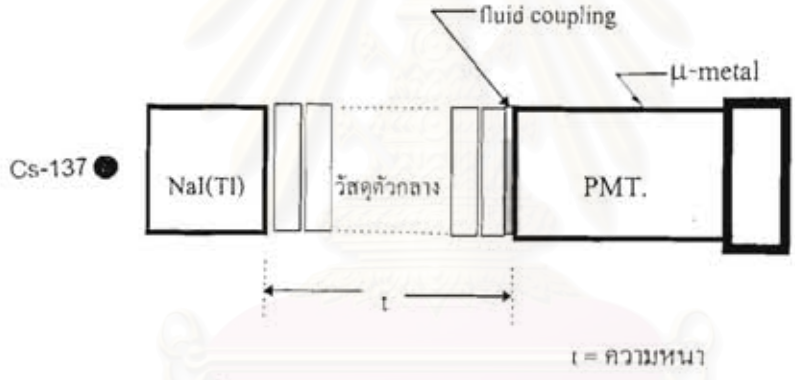


ข. อุปกรณ์ทดลองที่สร้างขึ้น

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์สำหรับทดลองผลการสูญเสียความเข้มประกายแสงในอากาศ

3.3 อุปกรณ์ทดลองผลการสูญเสียความเข้มแสงในวัสดุ

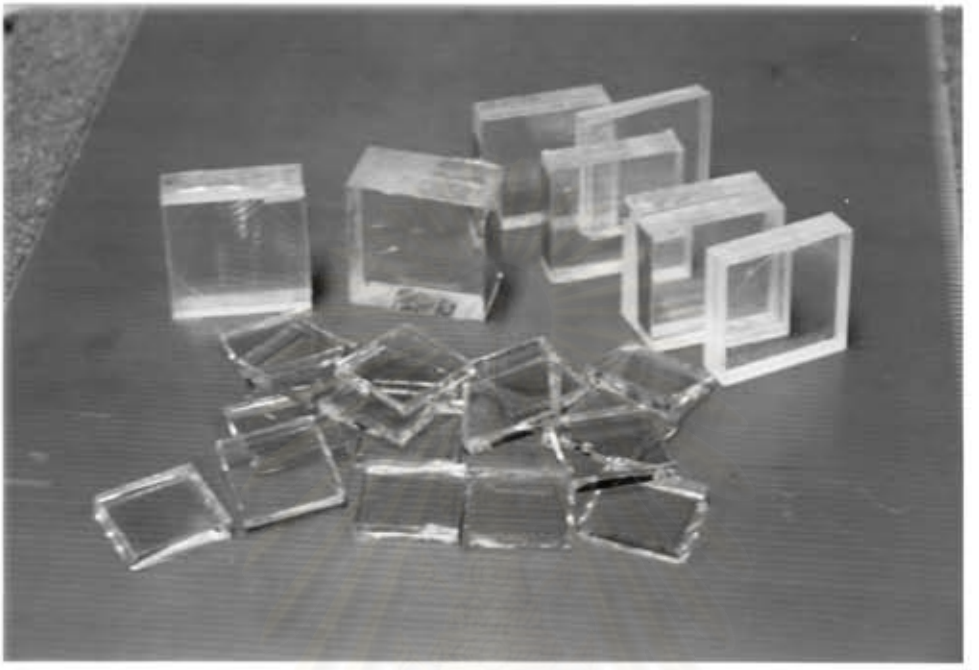
ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ส่งผ่านแสงมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุตัวกลางในการส่งผ่านแสง เช่นแผ่นอะคริลิกใส แผ่นแก้วกระจกใสและเลนส์เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีวัสดุประสานจำพวกซิลิโคนเหลวและวัสดุสะท้อนคลื่นแสงย่านอุลตร้าไวโอเลต ได้แก่ Al_2O_3 และ MgO เป็นต้น วัสดุตัวกลางดังกล่าวมีผลกระทบต่อการสูญเสียความเข้มแสงต่างๆกัน อุปกรณ์ที่ใช้ทดลองผลการสูญเสียทอนความเข้มแสงด้วยการวัดสัญญาณทางออกขณะเพิ่มความหนาของวัสดุ แสดงในรูปที่ 3.5



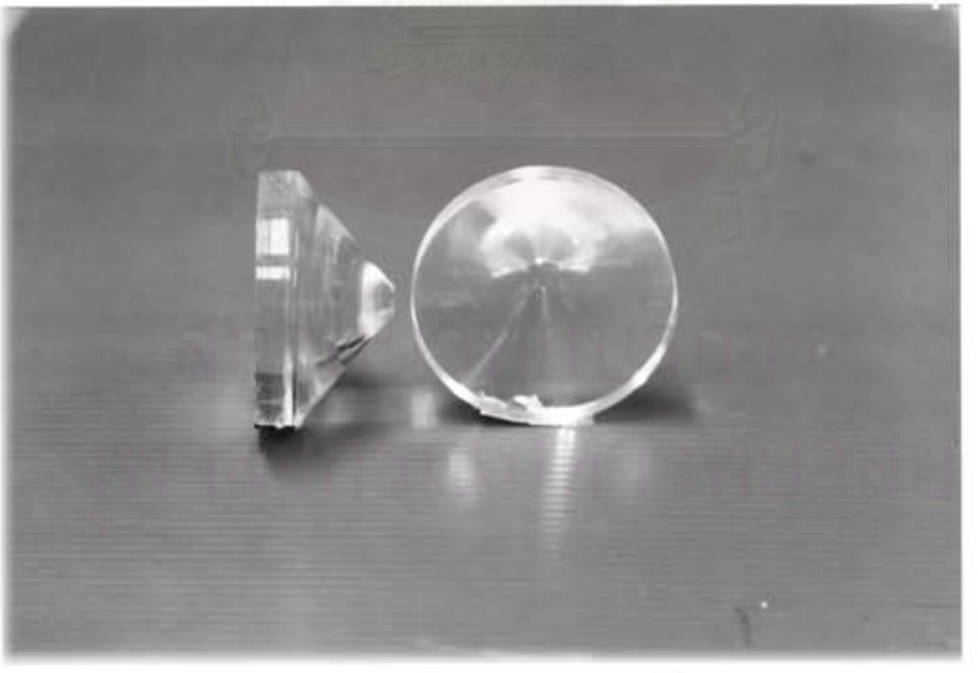
ก. อุปกรณ์การทดลองผลการสูญเสียความเข้มแสงในวัสดุ

ข. ภาพถ่ายอุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์สำหรับทดลองผลการสูญเสียความเข้มแสงในวัสดุ



ก. แผ่นอะคริลิกและแผ่นแก้วกระจก

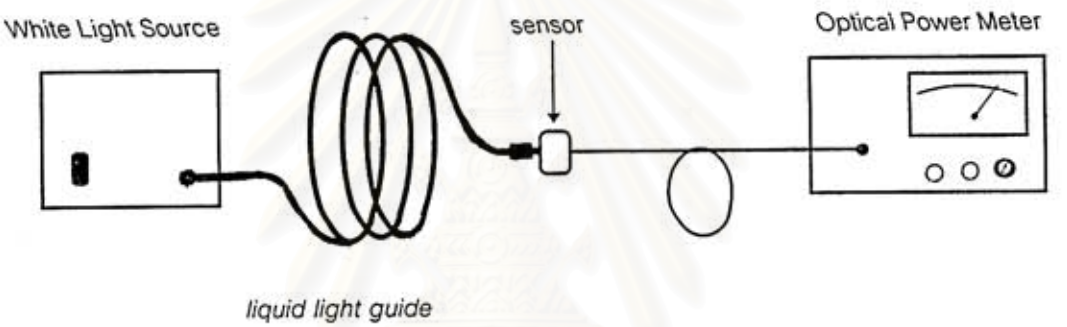


ข. ท่อนำแสงระหว่างอุปกรณ์และปลายเส้นใยแสงทั้งสองด้าน

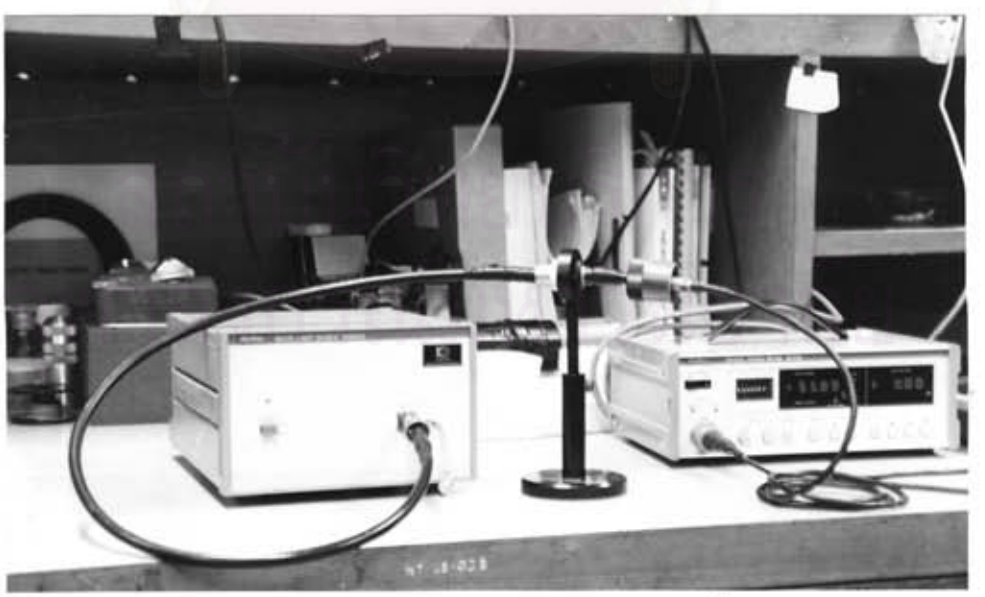
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ประกอบการทดลองผลการสูญเสียความเข้มแสง

3.4 อุปกรณ์วัดการสูญเสียความเข้มแสงในเส้นใยแสง

ในการทดลองนี้ได้เลือกเส้นใยแสง 3 แบบดังกล่าวไว้ในข้อ 3.1 เส้นใยแสงเมื่อมีระยะทางไกลขึ้นจะมีความสูญเสียความเข้มแสงระหว่างการเดินทางในแกนท่อนำแสง การวัดการสูญเสียความเข้มแสงของเส้นใยแสง จะจัดอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 3.7 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงขาว (white light source) ของ Anritsu รุ่น MS96A และ เครื่องวัดกำลังส่องสว่าง (optical power meter) ของ Anritsu รุ่น ML-93B รวมทั้งการวัดประกายแสงของผลึกวัดรังสี NaI(Tl) โดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137 ความแรง 2 μCi



รูปที่ 3.7 แผนภาพการจัดอุปกรณ์วัดการสูญเสียความเข้มแสง



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การวัดการสูญเสียความเข้มแสงในเส้นใยแสง

3.5 การออกแบบระบบส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสี NaI(Tl) ระยะไกล

ปัจจัยหลักของการส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงที่จะต้องพิจารณาได้แก่

ก. การบีมลำประกายแสง ให้เข้าสู่เส้นใยแสง

ข. การกระจายแสงสู่ผิวหน้าของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

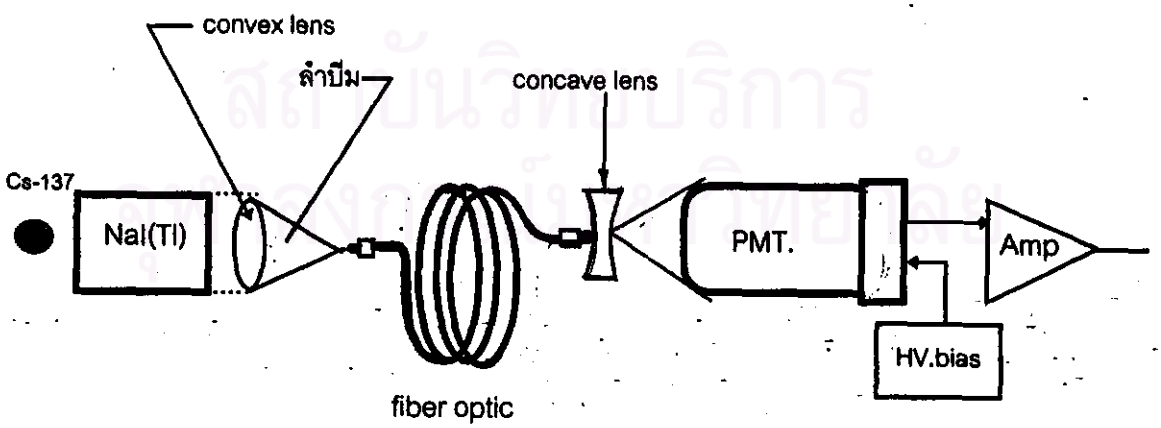
ค. การเชื่อมประสานรอยต่อให้เสมือนเป็นเนื้อเดียวกัน

ง. การใช้อุปกรณ์นำแสง

ดังนั้น จึงออกแบบระบบส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีไว้ 4 แนวทาง จากผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์พลังงานของรังสีจากการส่งประกายแสงระยะไกล ดังนี้

3.5.1 การส่งประกายแสงผ่านระบบเลนส์

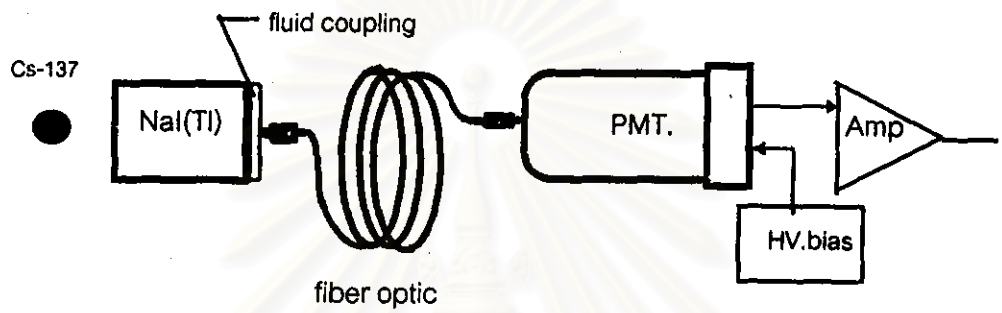
การส่งประกายแสงด้วยระบบเลนส์ผ่านเส้นใยแสง จะใช้เลนส์ 2 ตัวได้แก่ เลนส์รวมแสงด้านผลึกวัดรังสี ใช้เลนส์นูนชนิด SPX-013 และเลนส์เว้าชนิด SPC-013 (รายละเอียดในภาคผนวก ง.) ใช้กระจายแสงสู่ผิวหน้าหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน มีแผนภาพการจัดระบบส่งประกายแสงดังรูปที่ 3.9 โดยประกอบส่วนที่เชื่อมต่อให้ปิดสนิทป้องกันแสงจากภายนอกเข้ารบกวน



รูปที่ 3.9 แผนภาพระบบส่งประกายแสงระยะไกลด้วยเลนส์

3.5.2 การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงชนิดของเหลวโดยตรง

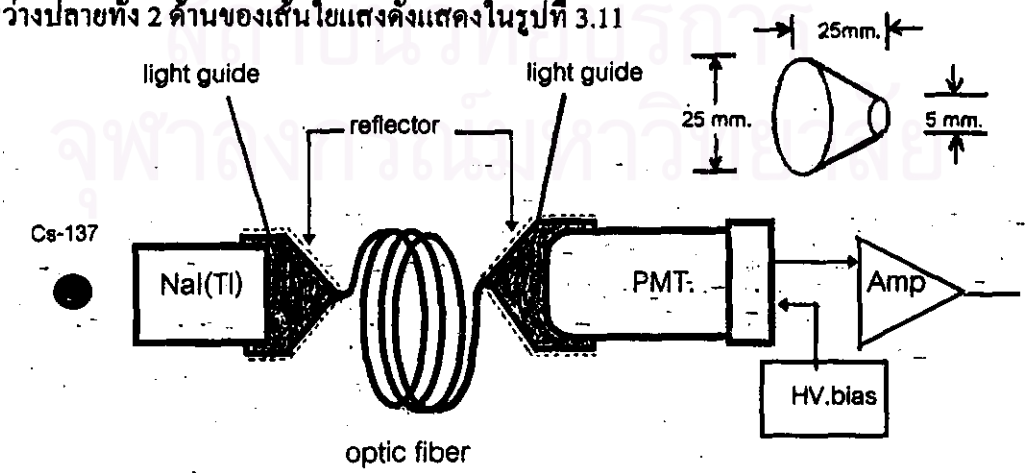
การส่งประกายแสงด้วยระบบเลนส์อาจจะมีประสิทธิภาพได้ดี เนื่องจากผลการสูญเสียความเข้มแสงของอากาศ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบการส่งผ่านประกายแสงด้วยเส้นใยแสงชนิดของเหลว ซึ่งมีพื้นที่ท่อนำแสงค่อนข้างโต (3-5 mm) จะช่วยลดอุปกรณ์เลนส์และการสูญเสียปริมาณแสงด้วย การจัดระบบส่งประกายแสงดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพระบบส่งประกายแสงระยะไกล ด้วยเส้นใยแสงโดยตรง

3.5.3 การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงร่วมกับท่อนำแสง

การส่งประกายแสงด้วยเส้นใยแสงชนิดของเหลวนำแสงโดยตรงนั้น พื้นที่การรับประกายแสงและการกระจายแสงจะไม่โตมากนัก ดังนั้น เพื่อจัดการนำแสงและกระจายแสงให้เต็มพื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสง และหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน จึงออกแบบท่อนำแสงรูปกรวยที่ทำด้วยอะคริลิก ห่อหุ้มด้วยวัสดุสะท้อนแสงย่านอุลตราไวโอเลต เชื่อมประสานการส่งผ่านแสงระหว่างปลายทั้ง 2 ด้านของเส้นใยแสงดังแสดงในรูปที่ 3.11



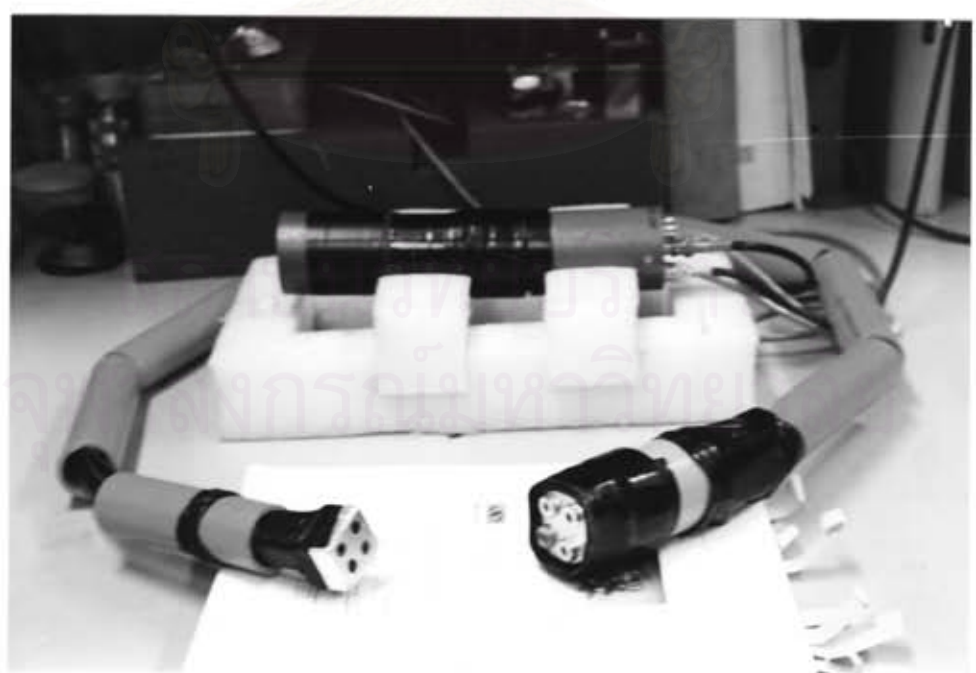
รูปที่ 3.11 แผนภาพระบบส่งประกายแสงระยะไกลด้วยเส้นใยแสงร่วมกับ

3.5.4 การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงแบบมัดรวม

การเพิ่มพื้นที่ของการส่งประกายแสงระยะไกลอีกวิธีหนึ่ง เพื่อเลี่ยงการสูญเสียความเข้มแสงบริเวณเชื่อมประสานด้วยท่อนำแสงที่ปลายของเส้นใยแสง คือการมัดเส้นใยแสงรวมกัน และเชื่อมประสานปลายเส้นใยแสงด้วยซิลิโคนเหลวโดยตรง กับผิวหน้าของผลึกวัดและโฟโตแคโทด ดังแสดงการจัดระบบในแผนภาพรูปที่ 3.12 และรูปแสดงการมัดรวมเส้นใยแสงชนิดของเหลวในรูปที่ 3.13

Cs-137

รูปที่ 3.12 แผนภาพระบบส่งประกายแสงผ่านมัดเส้นใยแสง



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายของมัดเส้นใยแสงแบบชนิดของเหลวนำแสง

รูปที่ 3.14 ชุดอุปกรณ์ทดสอบการสูญเสียความเข้มประกายแสง

รูปที่ 3.15 ชุดอุปกรณ์ทดลองการส่งประกายแสงระยะไกลด้วยเส้นใยแสงแบบมัด