บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยด้านการส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีระยะไกลผ่านเส้นใยแสงนี้ จะเป็นการช่วยแก้ปัญหาการทำงานของหัววัดซินทิลเลชัน ซึ่งไม่สามารถทำงานในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กความเข้มสูง หรืออุณหภูมิที่สูงเกิน 60° C หรือมีการสั่นสะเทือนมาก ทั้งนี้เนื่องจากหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนไวต่อภาวะแวดล้อมเหล่านี้ ดังนั้นการแยกหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนไปติดตั้งในบริเวณที่ปราศจากสิ่งรบกวน และส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีซึ่งทำงานในบริเวณวัดรังสีผ่านเส้นใยแสงมายังโฟโตแคโทดของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน จึงเป็นการหลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนที่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดรังสีที่รุนแรง ทั้งในแง่การสูญเสียปริมาณนับรังสีและความสามารถในการแจกแจงพลังงาน

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาการส่งประกายแสงจากผลึกโซเดียมไอโอไดด์ (แทลเลียม) ผ่านเส้นใยแสงชนิดต่างๆ โดยใช้ผลึกวัดรังสีขนาด 1"x1" และหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนแบบหน้าต่างหน้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ของ RCAรุ่น5819 โดยออกแบบระบบส่งประกายแสงไว้ 4 รูปแบบ คือ

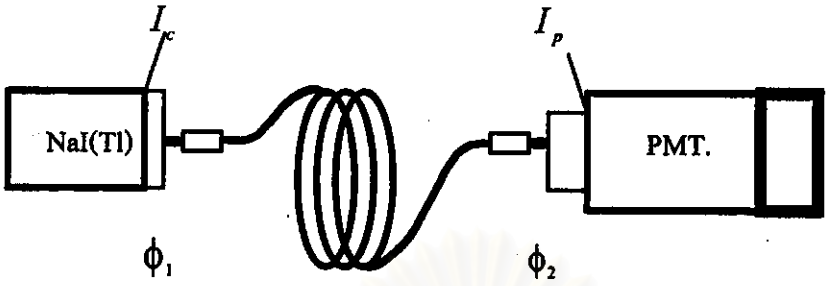
ก. การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงชนิดsingle mode ขนาดที่ใช้กับคลื่นแสงย่าน UV โดยใช้ระบบเลนส์ช่วยในการรวมแสงและกระจายแสง ให้หลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

ข. การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดขนาด 3-5 มิลลิเมตรโดยตรง

ค. การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงเส้นเดี่ยว โดยใช้ท่อนำแสง (light guide) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการส่งความเข้มประกายแสง

ง. การส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงแบบมัดรวม เพื่อเพิ่มพื้นที่รับแสงในการส่งความเข้มประกายแสง

5.1.1 การศึกษาระบบส่งประกายแสงพบว่าความเข้มประกายแสงจากผลึกวัดรังสี NaI(Tl) ซึ่งมีคลื่นแสงในช่วง 350-480 nm จะมีการสูญเสียได้ในตัวกลางต่างๆ ได้แก่ ช่องว่างระหว่างเลนส์ตัวกลางนำแสงหรือรวมแสงและเส้นใยแสงสู่เส้นใยแสง ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการของความเข้มประกายแสงที่หน้าโฟโตแคโทดได้ดังสมการที่ 5.1 ดังนี้



$$I_p = a.I_c(e^{-\phi_1 x_1} \times e^{-\phi_2 x_2})$$

$$= a.I_c.e^{-(\phi_1 x_1 + \phi_2 x_2)} \quad \text{..... (5.1)}$$

เมื่อ I_p = ความเข้มประกายแสงที่หน้าโฟโตแคโทด

I_c = ความเข้มประกายแสงจากผลึกวัด

ϕ_1, ϕ_2 = สัมประสิทธิการสูญเสียความเข้มประกายแสงของวัสดุชนิดที่ 1 และ 2

X_1, X_2 = ความหนาของวัสดุนำแสงชนิดที่ 1 และ 2

a = อัตราการสูญเสียความเข้มแสงในเส้นใยต่อความยาว

รูปที่ 5.1 แผนภาพการสูญเสียประกายแสงในการส่งผ่านตัวกลาง

และจากการศึกษาผลการสูญเสียความเข้มประกายแสงในตัวกลางพบว่า สัมประสิทธิ์การสูญเสียความเข้มประกายแสงของผลึก NaI(Tl) ในตัวกลางต่างๆ ในผลการทดลองข้อ 4.1 และ 4.2 แสดงให้เห็นว่า

ก. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความเข้มประกายแสง (ϕ_a) ในอากาศ จากเส้นกราฟรูปที่ 4.2 บนสเกลกึ่งลอกการิทึม ให้ค่า Y = -0.3527x + 6.3111

นั่นคือในสเกลเชิงเส้น Y = $550.6\, e^{-0.3527X}$

จะได้ ϕ_a มีค่า 0.3527 cm^{-1}

ข. สัมประสิทธิ์การสูญเสียความเข้มประกายแสงในแก้วกระจก (ϕ_g) และในแผ่นอะคริลิก (ϕ_p) จากเส้นกราฟรูปที่ 4.6 และ 4.7 บนสเกลกึ่งลอกการิทึม ตามลำดับ ดังนั้น

ในกราฟรูปที่ 4.6 ค่า Y = -0.5881X + 6.0911

ดังนั้น ในสเกลเชิงเส้น Y = $441.7\, e^{-0.5881X}$

จะได้ ϕ_g มีค่า 0.5881 cm^{-1}

และในกราฟรูปที่ 4.8 ค่า Y = -0.3084X + 6.1461

ดังนั้น ในสเกลเชิงเส้น Y = $515.43e^{-0.3315X}$

จะได้ ϕ_p มีค่า = 0.3315 cm^{-1}

5.1.2 ระบบส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงที่ใช้เลนส์ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งประกายแสง ไม่สามารถทำได้ในการวิจัยนี้ เนื่องจากการสร้างอุปกรณ์ส่งประกายแสงสู่ปลายเส้นใยแสงขนาดเล็ก จะต้องอาศัยระบบกลที่ละเอียดมากไม่สามารถสร้างได้ เลนส์ชนิด fused silica ที่หาได้มีความยาวโฟกัสไกล ทำให้เกิดการสูญเสียประกายแสงมาก การไล่อากาศด้วยก๊าซ He หรือการสูบอากาศออกให้เป็นสุญญากาศไม่สะดวกในการจัดระบบ จากการเสาะหาอุปกรณ์ช่วยนำแสง พบว่าวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้คือ การจัดให้ระบบรวมแสงมีระยะโฟกัสใกล้ทำได้โดยใช้เลนส์ชนิดไมโครสเพียร์ (micro spherical lens) และการเพิ่มจำนวนเส้นใยแก้วที่แกนนำแสงตอบสนองคลื่นแสงย่าน UV ซึ่งไม่สามารถหาได้ จึงทำให้การทดลองนี้ไม่ประสบความสำเร็จ

5.1.3 ระบบส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงโดยตรง ซึ่งใช้เส้นใยแสงที่มีหน้าตัดขนาด 3-5 mm เปรียบเทียบระหว่างเส้นใยแสงชนิด glass single fiber bundle และ liquid light guide พบว่าเส้นใยแสงชนิด liquid light guide ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าประมาณ 80% หาได้ง่าย ราคาถูกกว่า การพิจารณาคุณภาพของการวัดรังสีจากการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีแกมมาของ Cs-137 ยังมีคุณภาพต่ำ แต่การส่งสัญญาณพัลส์จะสามารถส่งได้ไกลกว่า 3 เมตร สามารถใช้กับระบบวัดรังสีแบบนับรวม(integral counting system)ได้

5.1.4 การส่งประกายแสงโดยเส้นใยแสงชนิดของเหลวนำแสงเส้นเดียว และการใช้ท่อนำแสงรูปกรวยที่สร้างจากอะคริลิกใสช่วยรวมแสงปลายทางเข้าและกระจายแสงด้านทางออก พบว่าประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สเปกตรัมของ Cs-137 ด้อยกว่าแบบส่งประกายแสงโดยตรง เนื่องจากสูญเสียความเข้มประกายแสงในอะคริลิก

5.1.5 การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งประกายแสงด้วยการเพิ่มพื้นที่เส้นใยแสงชนิดของเหลวนำแสงมัดเป็น 5 เส้นยาว 1.5 เมตร พบว่าประสิทธิภาพในการวิเคราะห์สเปกตรัมของ Cs-137 เป็นดังนี้

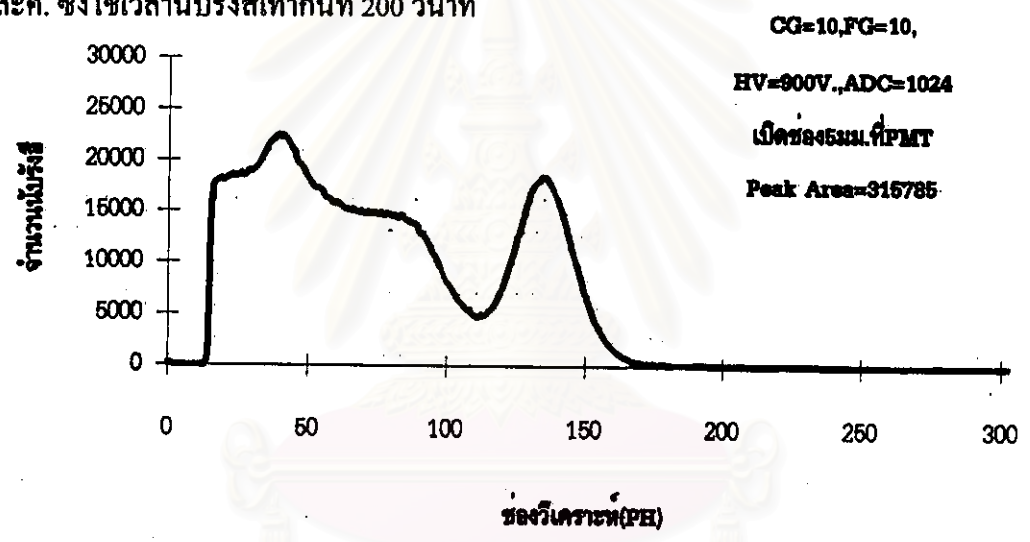
ก. ความเข้มของประกายแสงสูงขึ้น 2.16 เท่า พิจารณาตำแหน่งพีคพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยนำแสง 2 เส้น

ข. รูปสเปกตรัมมีความเป็นไปได้ ที่จะนับรังสีแบบแยกนับเฉพาะพลังงาน (differential counting system) การด้อยลงของความสามารถในการแจกแจงพลังงานเนื่องจากการกระเจิงและการสอดแทรกของแสงในแกนนำแสงซึ่งทำให้จำนวนนับได้พื้นที่ลดลง การวัดรังสีที่

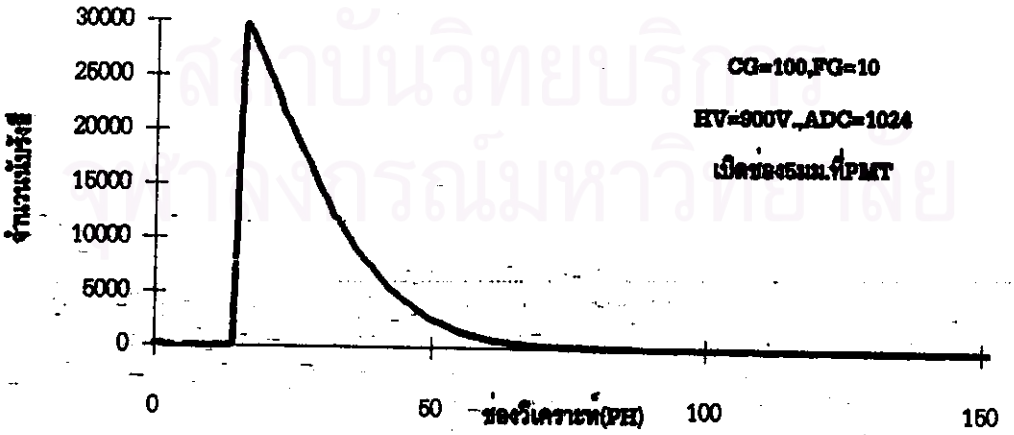
ตำแหน่งพีค(peak efficiency) เทียบกับการส่งประกายแสงโดยตรง จากการหาประสิทธิภาพพื้นที่รับประกายแสงเท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพเท่ากับ 34.77 %

5.1.6 การส่งประกายแสงจากผลึกวัดรังสีระยะไกลผ่านเส้นใยแสงมีข้อเสียด้านผลต่อการลดความสามารถในการแจกแจงพลังงานของหัววัดซินทิลเลชันลง แต่เมื่อเทียบกับการปล่อยให้หลอดทวีคูณอิเล็กตรอนทำงานในบริเวณที่มีสิ่งรบกวนสูงจะทำให้การสูญเสียอัตรานับรังสีและความสามารถในการแจกแจงพลังงานและคุณภาพต่ำกว่านี้มาก

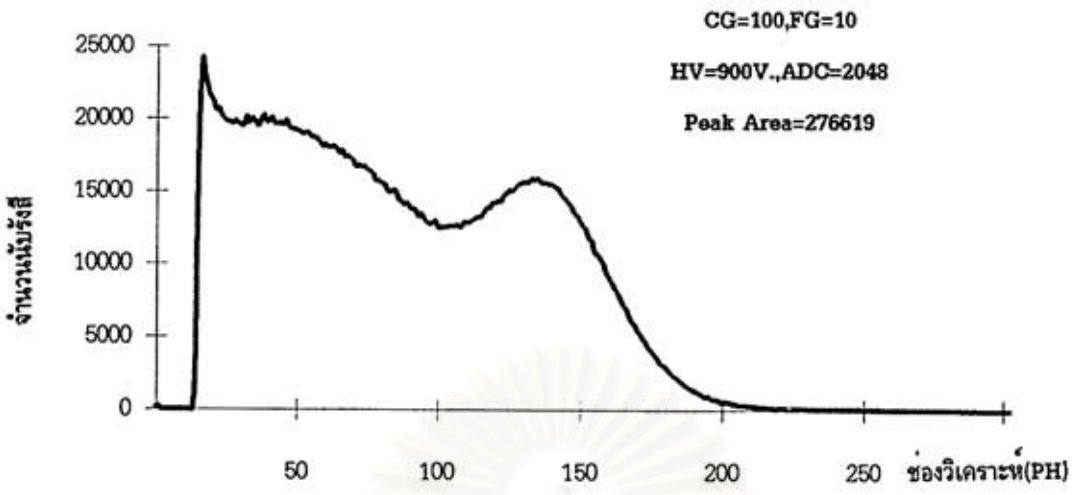
5.1.7 สรุปผลการทดลองส่งประกายแสงระยะไกล เปรียบเทียบกับการส่งประกายแสงโดยตรงระหว่างผลึกวัดรังสีและหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนซึ่งควบคุมพื้นที่รับแสงให้เท่ากับพื้นที่แกนนำแสงของเส้นใยแสงเป็นไปตามผลของสเปกตรัมของ Cs-137 ความแรง 10 μCiในรูปที่ 5.2 ก. ข. และค. ซึ่งใช้เวลานับรังสีเท่ากันที่ 200 วินาที



ก. สเปกตรัมของ Cs-137 เมื่อส่งประกายแสงตรงบังคับพื้นที่เท่ากับแกนนำแสงของเส้นใยแสง



ข. สเปกตรัมของ Cs-137 เมื่อส่งผ่านประกายแสงผ่านเส้นใยแสงชนิดของเหลวเส้นเดี่ยวความยาว 1.5 เมตร



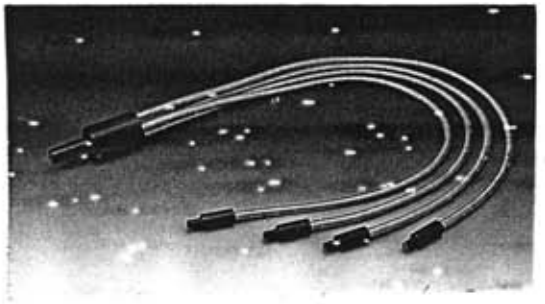
ค. สเปกตรัมของ Cs-137 เมื่อส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงชนิดของเหลวแบบมัดรวม 5 เส้น

รูปที่ 5.2 กราฟเปรียบเทียบสเปกตรัมของการส่งผ่านประกายแสงผ่านเส้นใยแสงชนิดต่างๆ

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ระบบส่งประกายแสงผ่านเส้นใยแสงแบบ single mode โดยใช้ระบบเลนส์ fused silica รวมแสงและกระจายแสงที่เสนอไว้มีอุปสรรค์ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยยังเห็นว่า ถ้ามีการจัดอุปกรณ์ปรับระยะโฟกัสที่มีความละเอียดสูง และจัดหาเลนส์ที่มีความยาวโฟกัสสั้นได้และใช้เส้นใยแสง single mode ที่ตอบสนองคลื่นแสงย่าน UV แบบมัดรวมกัน ระบบส่งประกายแสงนี้จะมีคุณภาพการส่งประกายแสงได้ดีกว่าและในแง่ของความสามารถในการแจกแจงพลังงานจะสูงกว่า เนื่องจากลำแสงในเส้นใยแสงแบบ single mode จะขนานกัน จึงน่าจะมีการศึกษาต่อไป

2.2 การจัดหัววัดรังสีแบบซินทิลเลชัน ให้มีการส่งประกายแสงระยะไกลนี้ นอกจากป้องกันสิ่งรบกวนต่อหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนดังได้กล่าวมาแล้วนั้น ยังสามารถใช้ความอ่อนตัวของเส้นใยแสงในการนำผลึกวัดรังสีไปใช้ในระบบสแกนเพื่อวัดรังสี หรือการสแกนสร้างข้อมูลภาพได้สะดวก และการใช้เส้นใยแสงแบบ multi core ยังสามารถวัดรังสีจากผลึกวัดหลายผลึก หลายตำแหน่งมารวมกันที่หลอดทวีคูณอิเล็กตรอนเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 เส้นใยนำแสงแบบ multi core