บทนำ (Introduction)

ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำหัววัดรังสีมาใช้ในการวัดปริมาณรังสีสำหรับการตรวจวินิจฉัยและการรักษาโรคทางการแพทย์เพิ่มมากขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อให้มีการพัฒนาการตรวจรักษาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการรองรับเทคโนโลยีการผลิตรวมถึงการตรวจสอบคุณภาพในทางอุตสาหกรรม หัววัดรังสีที่ใช้ทั้งทางการแพทย์และทางอุตสาหกรรมมีหลายชนิดในจำนวนนี้หัววัดรังสีซินทิลเลชัน (Scintillation detector) (1) ที่ใช้ผลึกวัดรังสีชนิดสารอนินทรีย์เป็นหัววัดรังสีกำลังได้รับความเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะการนำมาใช้ในการตรวจรักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์เช่นการวัดความแรงรังสีของสารกัมมันตรังสีชนิด I-131 ที่ผู้ป่วยได้รับจากการรักษา โดยใช้หัววัดรังสีของเครื่อง thyroid uptake ซึ่งภายในประกอบด้วยหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน โดยเครื่องดังกล่าวมีอยู่เฉพาะตามโรงพยาบาลขนาดใหญ่เท่านั้น ปกติแล้วหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชันประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ ผลึกวัดรังสีและอุปกรณ์ไวแสงชนิดหลอดทวีคูณแสง (PMT) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณแสงที่เกิดจากรังสีตกกระทบผลึกวัดรังสีแล้วเกิดอันตรกิริยาขึ้น (2-4) ผลึกเรืองรังสี (Scintillation crystal) แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ ผลึกวัดรังสีประเภทสารอินทรีย์ (Organic scintillator) ได้แก่ แอนทราซีน โพลิเมอร์ต่างๆ และผลึกวัดรังสีประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganic scintillator) เช่น BGO, NaI(Tl) และ CsI(Tl) เป็นต้น

สำหรับผลึกเรืองรังสีชนิดสารอนินทรีย์ที่นิยมใช้กันเป็นจำนวนมากในประเทศไทยเป็นผลึกเรืองรังสีชนิด NaI(Tl) ที่ใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสงแต่ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตหัววัดรังสีชนิดผลึกเรืองรังสีดังกล่าวขึ้นใช้ ด้วยเหตุที่การนำเข้าผลึกเรืองรังสีจากต่างประเทศทำให้ราคาของหัววัดรังสีมีราคาสูงมาก ดังนั้นงานศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างผลึกเรืองรังสีที่สามารถใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสงเป็นหัววัดรังสีซินทิลเลชันขึ้นใช้เองในประเทศ โดยพัฒนาให้หัววัดรังสีซินทิลเลชันมีขนาดมาตรฐานเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ได้ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านพบว่าผลึกเรืองรังสีชนิด NaI(Tl) ที่ใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสง เมื่อนำมาวัดรังสีแกมมาจากสารกัมมันตรังสีชนิด Cs-137 ที่มีพลังงาน 662 keV ซึ่งเป็นต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานสำหรับการปรับเทียบหัววัดรังสี ให้ความสามารถในการแจกแจงพลังงานได้ประมาณ 6-10% แต่อย่างไรก็ตามผลึกชนิด NaI(Tl) มีข้อเสียที่สำคัญคือค่อนข้างไวต่อความชื้นและผลึกเกิดการแตกหักได้ง่ายตลอดจนขั้นตอนการผลิตมีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามยังมีผลึกบางชนิดที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานใกล้เคียงกับผลึก NaI(Tl) เช่น ผลึก CsI(Tl) ซึ่งสามารถทำการปลูกผลึกได้ในห้องปฏิบัติการที่ใช้อุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก นอกจากนี้ผลึกชนิดนี้ไม่ไวต่อความชื้นและมีอัตราส่วนของการเกิดโฟตอนต่อพลังงานรังสีแกมมา (light

yield) ค่อนข้างสูง อีกทั้งยังสามารถทำการปลูกผลึกให้มีขนาดตามที่ต้องการได้ ดังนั้นงานศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะทำการสร้างผลึกเรืองรังสีชนิด CsI(Tl) ที่มีความสามารถในการแจกแจงพลังงานได้ใกล้เคียงกับ NaI(Tl) แต่มีราคาที่ถูกกว่าเพื่อใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสงเป็นหัววัดรังสีซินทิลเลชันทางการแพทย์ โดยพัฒนาให้ผลึกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว ประกอบเป็นหัววัดรังสีสำเร็จรูป โดยผลึกเรืองรังสีที่สร้างขึ้นในงานศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการใช้ศาสตร์ที่ร่วมกันระหว่างเทคโนโลยีนิวเคลียร์ วัสดุศาสตร์และวิทยาศาสตร์การแพทย์ เพื่อพัฒนาให้ผลึกเรืองรังสีมีสมรรถนะในการวัดรังสีได้สูงเทียบเท่ากับต่างประเทศ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) พัฒนาผลึกเรืองรังสีชนิดสารอนินทรีย์ CsI(Tl) ใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสงเป็นหัววัดรังสีซินทิลเลชันที่มีต้นทุนต่ำขึ้นใช้เองในประเทศ

2) ผลึกที่ทำการพัฒนาขึ้นมีความสามารถในการแจกแจงพลังงานใกล้เคียงกับผลึกวัดรังสีชนิด NaI(Tl) ซึ่งเป็นผลึกที่ใช้งานในเชิงพาณิชย์

3) ผลึก CsI(Tl) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว สามารถวัดรังสีที่มีความแรงรังสีต่ำ ทำให้เหมาะสมสำหรับการนับวัดปริมาณรังสีที่ออกมาจากผู้ป่วย เช่น สามารถใช้กับระบบนับวัดรังสีในเครื่อง thyroid uptake ในการตรวจรักษาทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์

ขอบเขตของการวิจัย

1) ปลูกผลึกเรืองแสงชนิด CsI(Tl) ด้วยวิธีบริดจ์แมน-สตอกบราเจอร์แบบระบบปิด โดยใช้กระบวนการปลูกผลึกอย่างง่ายซึ่งสามารถออกแบบและสร้างในห้องปฏิบัติการได้

2) ปลูกผลึกเรืองรังสีชนิด CsI(Tl) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ยาว 2 นิ้ว

ทฤษฎี สมมติฐาน และหรือกรอบแนวความคิดของการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลการปลูกผลึกวัดรังสีที่ผ่านมาพบว่ากระบวนการสร้างผลึกเรืองรังสีเป็นการปลูกผลึกจากสารเคมีที่มีความบริสุทธิ์สูง ด้วยกระบวนการปลูกผลึกแบบ Bridgman-Stockbarger (5) ซึ่งเป็นกระบวนการปลูกผลึกอย่างง่ายกระบวนการหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผลึกให้มีขนาดใหญ่ และวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่นิยมกันโดยทั่วไป โดยวิธีการปลูกผลึกที่ใช้ในยุคแรกเป็นการพัฒนามาจากวิธีการปลูกผลึกเดี่ยวของ Bridgman ที่ได้จากการทำให้สารที่ต้องการปลูกผลึกไปผ่านกระบวนการหลอมเหลวจากนั้นปล่อยให้เกิดการเย็นตัวลงอย่างช้าๆ เป็นผลึกภายในภาชนะบรรจุสารหลอมเหลว ต่อมา Stockbarger ได้ทำการปรับปรุงเทคนิคการปลูกผลึกของ Bridgman โดยได้ทำการเคลื่อนภาชนะที่บรรจุสารหลอมเหลวผ่านเตาหลอมในแนวตั้ง ทำให้เกิดจุดก่อตัวของผลึกที่ปลายสุดของภาชนะปลูกผลึก แต่อย่างไรก็ตามในผลึกบางชนิดอาจใส่ผลึกเดี่ยวเริ่มต้น (Seed crystal) เพื่อทำให้เกิดผลึกได้ง่ายขึ้น การ

ปลูกผลึกด้วยวิธีนี้ทำได้โดยการสร้างเตาหลอมแนวตั้งที่ประกอบด้วยขดลวดความร้อน 2 ชุด ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิเตาทั้งสองให้มีความอิสระจากกันพร้อมทั้งมีแผ่นกัน (Baffle) เพื่อทำหน้าที่ลดการรบกวนทางความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างโซนของขดลวดทั้งสอง โดยเตาหลอมส่วนบนจะคงอุณหภูมิเหนือจุดหลอมเหลวของสารที่จะปลูกผลึก ในขณะที่เตาหลอมส่วนล่างคงอุณหภูมิไว้ด้วยค่าที่เหมาะสมเพื่อคงที่แกรเดียนท์ของอุณหภูมิ (Temperature gradient) ให้สัมพันธ์กับการขับเคลื่อนระบบปลูกผลึก โดยทั่วไปแล้วค่าแกรเดียนท์ของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผลึกจะอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยค่าแกรเดียนท์ดังกล่าวทำให้อัตราการโตของผลึก (Growth rate) มีความเหมาะสมและสามารถก่อตัวเป็นผลึกเดี่ยว (Single crystal) ที่มีขนาดใหญ่ได้

สำหรับสารที่นำมาใช้เป็นผลึกวัดรังสีชนิด CsI(Tl) นั้นอยู่รูปของสารประกอบซีเซียมไอโอไดด์ (CsI) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการเป็นผลึกวัดรังสี เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ไม่ไวต่อความชื้น มีความอ่อนตัวของผลึก ไม่เกิดการแตกหักง่าย ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิฉับพลันและมีความหนาแน่นสูง (3, 6, 7) ทำให้มีการนำผลึกวัดรังสีชนิด CsI(Tl) มาใช้อย่างแพร่หลายโดยผลึกมีลักษณะเป็นทั้งผลึกเดี่ยวบริสุทธิ์และผลึกเดี่ยวที่เจือสาร เช่น undoped CsI, CsI(Na) และ CsI(Tl) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลึกเรืองรังสีจะทำการเจือสาร (Dope) ชนิด TlI เพื่อเพิ่มความยาวคลื่นแสงที่ปลดปล่อยออกมามีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ไวแสง (Photosensitive device) ชนิดต่างๆ (8) โดยสามารถหาประสิทธภาพของผลึกเรืองรังสีได้จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารเจือที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพการวัดรังสีสูงสุด โดยจะนิยมวิเคราะห์ปริมาณสารเจือด้วยเครื่อง XRF และสำหรับในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพผลึกวัดรังสีสามารถทำได้โดยการนำผลึกเรืองรังสีที่ได้จากการศึกษาวิจัยไปใช้ร่วมกับหลอดทวีคูณแสงและต่อเข้ากับระบบนับวัดเพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการนับวัดรังสีตามข้อกำหนดสากลเช่นการทดสอบแบบ Acceptance test ตามคำเสนอแนะของสำนักงานทบวงการปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA), Radiation and Nuclear Safety Authority หรือ National Electrical Manufacturers Association (NEMA) (9-13)

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

ปี คศ. 1990 P. Schotanus, R. Kamermans และ P. Dorenbos (8) จาก Delft University of Technology, Netherlands ได้ศึกษาคุณสมบัติการวัดรังสีของผลึก CsI เปรียบเทียบกับ CsI(Tl) เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของสารเจือทัลเลียมระหว่าง 0.006 ถึง 0.3 เปอร์เซ็นต์โมล ด้วยการวัดรังสีแกมมาพลังงาน 662 keV ของ Cs-137 และอนุภาคแอลฟาของ Pu-239 ร่วมกับหลอดทวีคูณแสงและซิลิคอนโฟโตไดโอด (Silicon photodiode) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจรับแสง พบว่าผลึก CsI บริสุทธิ์มีประสิทธิภาพการให้แสงสูงสุด (Light yield) ที่ความยาวคลื่น 315 nm ส่วนผลึก CsI(Tl) ที่ผ่านการเจือสารมีประสิทธิภาพการให้แสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 550 nm เมื่อมีความเข้มข้นสารเจือเท่ากับ 0.03 เปอร์เซ็นต์โมลของทัลเลียม

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 29 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250758

ทดสอบด้วยรังสีแกมมาและอนุภาคแอลฟาโดยใช้ผลึก CsI(Tl) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร หนา 30 มิลลิเมตร ที่ความเข้มข้น 0.03 เปอร์เซ็นต์โมลของทัลเลียม พบว่าโฟโตไดโอดจะให้จำนวนคู่ของอิเล็กตรอนและโฮล (Electron–hole pair) มากกว่าโฟโตอิเล็กตรอนจากหลอดทวีคูณแสง แต่ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน (Resolution) ต่ำกว่าที่ระดับพลังงานเดียวกัน

ปี คศ. 2000 E. Fioretto, F. Innocenti, G. Viesti, M. Cinausero, L. Zuin, D. Fabris, M. Lunardon, G. Nebbia และ G. Prete (14) จาก Laboratori Nazionali di Legnaro, Legnaro, Italy ได้ศึกษาผลของปริมาตรผลึกเรืองรังสี CsI(Tl) ที่มีขนาด 12.8 cm^3 37.5 cm^3 344.6 cm^3 และ 833 cm^3 โดยใช้ผลึกเรืองรังสีร่วมกับซิลิคอนโฟโตไดโอดเพื่อตรวจสอบหาวัตถุที่สามารถระเบิดได้ เนื่องจากโดยทั่วไปวัตถุที่สามารถระเบิดได้จะมีไนโตรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ ดังนั้นจึงใช้นิวตรอนพลังงานต่ำ (Thermal neutron) เข้าไปทำอันตรกิริยากับนิวเคลียสของไนโตรเจน ส่งผลให้มีการปลดปล่อยรังสีแกมมาออกมา (Prompt gamma) ที่มีพลังงาน 10.8 MeV ซึ่งสามารถตรวจพบได้โดยใช้ผลึกเรืองรังสี ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาตรของผลึก CsI(Tl) เพิ่มขึ้นสามารถวัดรังสีแกมมาระดับพลังงานสูงได้ดี โดยที่ความสามารถในการแจกแจงพลังงานเทียบเท่าหรือดีกว่าผลึก NaI(Tl) ที่ใช้ร่วมกับหลอดทวีคูณแสง โดยที่ผลึก CsI(Tl) ที่ใช้ร่วมกับซิลิคอนโฟโตไดโอดมีราคาต่ำกว่า มีความเป็นเชิงเส้นในการตอบสนองพลังงานสูง ไม่ไวต่อการรบกวนของสนามแม่เหล็ก และมีขนาดเล็กกว่า

ปี พ.ศ. 2547 มานิตย์ จิตรภักดี (15) ได้พัฒนากระบวนการปลูกผลึกแบบบริดจ์แมน-สต็อกบาร์เจอร์ โดยใช้สารเริ่มต้นเป็นผง CsI ความบริสุทธิ์ 99.9% ผสมกับ TlI ความบริสุทธิ์ 99.999% บรรจุในภาชนะปลูกผลึกที่ทำด้วยแก้วไวคอร์ (Vycor) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร โดภาชนะปลูกผลึกถูกแขวนอยู่ในท่อปลูกผลึกระบบปิดที่ทำด้วยท่อเหล็กกล้าไร้สนิมภายใต้การอัดก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ 99.999% ผลการปลูกผลึกพบว่าระบบปลูกผลึกที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมคุณภาพของผลึกให้มีปริมาณสารเจือทัลเลียมที่ความเข้มข้นอยู่ระหว่างร้อยละ 0.0256 – 0.0806 โดยโมล เมื่อนำผลึกที่ปลูกได้ประกอบกับอุปกรณ์ตรวจรับแสงชนิดพินโฟโตไดโอดของบริษัท Hamamatsu รุ่น S3590-8 สำหรับวัดสเปกตรัมพลังงานของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 662 keV พบว่าผลึก CsI(Tl) ที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร มีความสามารถในการแจกแจงพลังงาน 15.48 % นอกจากนี้ยังทดลองใช้ผลึกที่สร้างขึ้นที่มีความหนา 8 มิลลิเมตร และ 4 มิลลิเมตร ประกอบกับอุปกรณ์ตรวจรับแสงชนิดหลอดทวีคูณแสงของบริษัท RCA รุ่น 5819 พบว่าให้ความสามารถในการแจกแจงพลังงาน 13.67%

ปี พ.ศ. 2553 มานิตย์ จิตรภักดี (16, 17)ได้มีการพัฒนากระบวนการปลูกผลึกแบบบริดจ์แมน-สต็อกบาร์เจอร์ ให้มีประสิทธิภาพในการปลูกผลึกดีขึ้น ทำให้สามารถปลูกผลึกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตรได้ เมื่อผลึกดังกล่าวมาใช้งานร่วมกับหลอดทวีคูณแสงมีการเพิ่มประสิทธิภาพการรวมแสงที่เรืองจากผลึกเข้าสู่อุปกรณ์ไวแสงได้ดีขึ้นโดยการใช้เทฟลอน (Teflon) พันรอบผลึกเพื่อให้เกิดการสะท้อนแสงมากขึ้น การทดลองดังกล่าวทำให้ผลึกวัดรังสีมีความสามารถใน