สมบัติด้านซินทิลเลชันของผลึก CsI(Tl) สำหรับวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา
Scintillation Properties of CsI(Tl) Crystals for Gamma Ray Detection

วุฒิชัย ไชยภักษา[1*] พฤฒิพล ลิ้มกิจเจริญภรณ์[1] และ จักรพงษ์ แก้วขาว[1, 2]

[1]โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางแก้วและวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[*]Chaipuksa_ch@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาคุณสมบัติด้านซินทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) ขนาด 10 x 10 x 10 mm^3 โดยต่อกับหลอดทวีคูณแสงเบอร์ R1306 ทำการวัดในช่วงพลังงานรังสีแกมมาตั้งแต่ 356-1332 keV พบว่าที่พลังงานรังสีแกมมา 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs ให้ค่าการแยกชัดพลังงานร้อยละ 7.13 และผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) แสดงความสัมพันธ์ลดลงแบบเอกโปเนนเชียลเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น การศึกษาค่ายิลด์แสงพบว่าผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) มีค่ายิลด์แสง 63855.25 โฟตอน/เมกกะอิเล็กตรอนโวลต์ (ph/MeV) และมีสัดส่วนโฟโตแฟรคชันร้อยละ 21.02 รวมทั้งเปรียบเทียบกับการคำนวณสัดส่วนของภาคตัดขวาง (Cross Section) โดยใช้โปรแกรมวินซ์เอ็กคอม (WinXcom Program) ในการคำนวณ

คำสำคัญ: ผลึกซินทิลเลเตอร์, BGO, การแยกชัดพลังงาน, ประสิทธิภาพการเปล่งแสง

Abstract

This research was investigated the scintillation response of CsI(Tl) dimention 10 x 10 x 10 mm^3. The scintillator was compared for gamma energies ranging from 356 keV to 1332 keV using R1306 photomultiplier tube readout. The energy resolution (FWHM) for 662 keV gamma-rays from ^{137}Cs are 7.13 percent. The crystal showed trend of energy resolution decreases exponentially with energy increasing. The studied BGO showed the light yield of 63855.25 ph/MeV. The photofraction of about 21.02 percent was determined and compared with the cross-section ratio which calculated by WinXCom program.

Keywords: scintillator, CsI(Tl), energy resolution, light yield

1. บทนำ

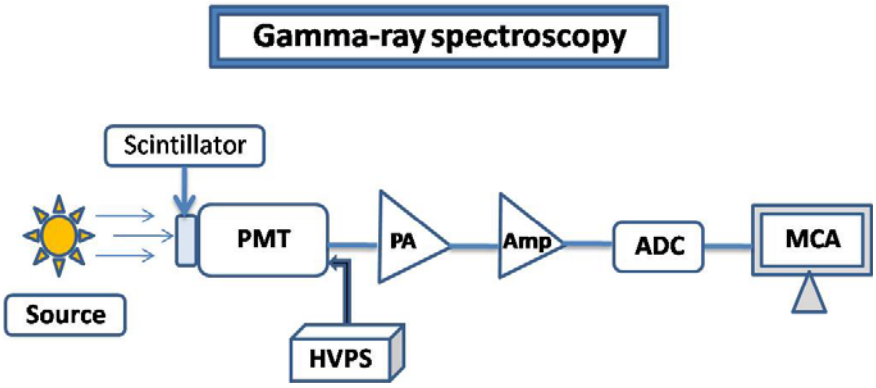
ในปัจจุบันการใช้หัววัดซินทิลเลชัน (scintillation detector) วัดรังสี ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะการตรวจวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในงานหลายด้าน ทั้งในด้านการแพทย์โดยนำมาประยุกต์ในการตรวจและติดตามการรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้ใน ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านอุตสาหกรรม ด้านเกษตรกรรม รวมไปถึงงานด้านธรณีวิทยา เป็นต้น ซินทิลเลเตอร์ คือ วัสดุที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดกระบวนการเรืองแสง ที่เรียกว่า ซินทิลเลชัน (Scintillation) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อโฟตอนที่มีพลังงานสูง (UV, X-rays, γ-rays) ตกกระทบสารแล้วสารนั้นเกิดการเปล่งแสงออกมาและเครื่องมือตรวจวัดที่ใช้หลักการนี้เรียกว่า เครื่องนับวัดรังสีแบบซินทิลเลชั่น (Scintillation Counter) เนื่องจากความเข้มแสงจากซินทิลเลชั่นมีค่าน้อยมาก จึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณก่อน โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขยายแสงซินทิลเลชั่น ได้แก่ หลอดทวีคูณแสง (Photomultiplier Tube;PMT) (ปนัดดา เคนมี, 2550) (Van Eijk, C.W.E., 2001)

ในการนำหัววัดซินทิลเลชันมาใช้วัดรังสีแกมมานั้นนิยมใช้ผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดอนินทรีย์ (Inorganic Scintillator) ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับการนำหัววัดซินทิลเลชันมาใช้วัดรังสีแกมมา โดยใช้ผลึกซินทิลเลเตอร์ชนิดอนินทรีย์ อาทิเช่น (Kimble, T., et al, 2003), (Moszynski, M., et al, 2002) และ (Dorenbos, P., et al, 1995) ซึ่งการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมานั้นต้องเลือกใช้ผลึกให้มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆในการตรวจวัดปริมาณรังสีของตัวผลึกซินทิลเลเตอร์ เช่น ค่า Energy Resolution, Light yield, Emission Spectrum, Excitation Spectrum, Intrinsic Energy Resolution และ Decay Time เป็นต้น ดังนั้นเมื่อทราบถึงคุณสมบัติของผลึกเหล่านี้แล้วทำให้สามารถเลือกผลึกซินทิลเลเตอร์ที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป (2549 ,เฉลิม วนะรักษ์)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติด้านซิลทิลเลชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) หรือโซเดียมไอโอไดด์(แทลเลียม) (Thallium activated Cesium Iodide) ซึ่งเป็นผลึกที่ได้รับความนิยมในงานด้านการตรวจวัดปริมาณรังสีแกมมา ข้อดีของ CsI(Tl) คือ มีความหนาแน่นสูงถึง 4.51×10^3 kg/m^3 มีเลขอะตอม 54 ซึ่งสูงกว่าผลึก NaI(Tl) จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการวัดรังสีแกมมาได้ดีกว่า ประสิทธิภาพการเปลี่ยนแสงของ CsI(Tl) มีค่าประมาณ 45% ของ NaI(Tl)

2. อุปกรณ์และวิธีการ

ในการประกอบหัววัดรังสีของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) ขนาด 10 x 10 x 10 mm^3 ผลิตโดยบริษัท Nuclear System Co., Ltd. นั้น เริ่มจากการนำผลึกซินทิลเลเตอร์มาเชื่อมต่อ (Coupling) กับหลอดทวีคูณแสงเบอร์ R1306 ผลิตโดยบริษัท Hamamatsu โดยใช้ Silicone Grease ในการเชื่อมต่อซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติค่อนข้างหนืดเพื่อให้ผลึกซินทิลเลเตอร์และผิวหน้าของหลอดทวีคูณแสงสามารถยึดติดกันได้ หลังจากนั้นจึงหุ้มด้วยวัสดุเทปสีดำเพื่อป้องกันแสงจากภายนอกเข้า นำหัววัดต่อเข้ากับ Preamplifier (Model 2007B) ซึ่งจะส่งสัญญาณต่อไปที่ Amplifier (Model 2022) ผลิตโดยบริษัท Canberra สัญญาณจะถูกส่งไปทำการวิเคราะห์ประมวลผลใน Multichannel Analyzer โดยใช้โปรแกรม Gamma Acquisition & Analysis ต้นกำเนิดรังสีที่ใช้คือ ^{133}Ba, ^{22}Na, ^{137}Cs, ^{60}Co มีช่วงพลังงานเริ่มจาก 356 keV ถึง 1332 keV



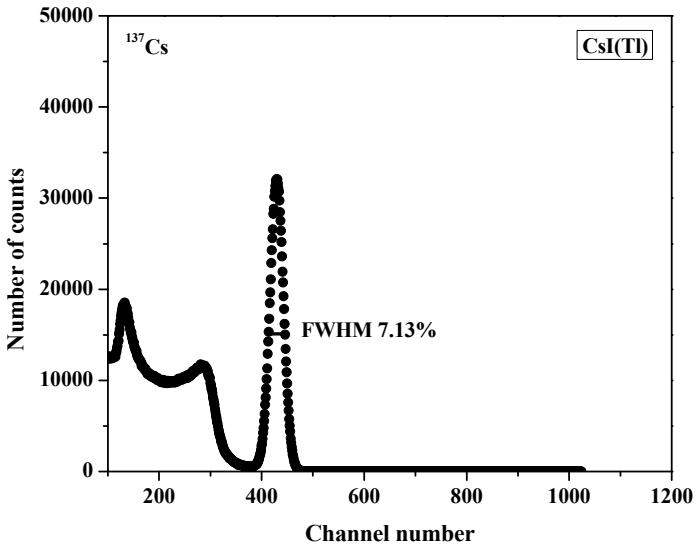
รูปภาพที่ 1 ระบบนับวัดรังสีแบบซินทิลเลชั่นสำหรับวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา

ในการคำนวณหาจำนวนโฟโตอิเล็กตรอนจากสเปกตรัมพลังงานรังสีแกมมาที่วัดได้จากผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) สามารถคำนวณโดยใช้วิธีการของเบอร์โตลาซซินี่ (Bertolaccini) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบ ตำแหน่งยอดพีคของพลังงานรังสีแกมมาจากแหล่งกำเนิดรังสีกับตำแหน่งของซิงเกิลโฟโตอิเล็กตรอนของหลอดทวีคูณแสง ซึ่งจะพิจารณาร่วมกับกำลังขยายของทั้งหลอดทวีคูณแสงและแอมปลิฟายเออร์ด้วย (Chewpraditkul, W., et al, 2012) (Phunpueoka, A., et al, 2012) (Wanarak, C., et al, 2012)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

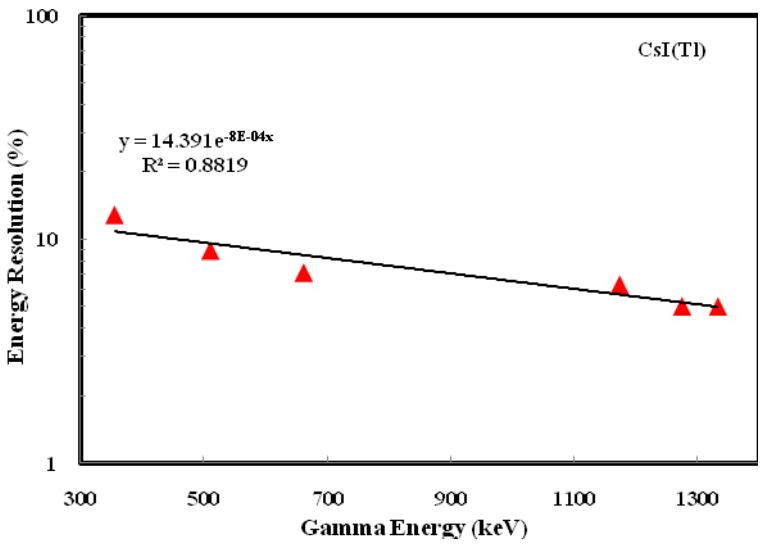
3.1 ค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

การหาค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) สำหรับพลังงานรังสีแกมมาตั้งแต่ช่วง 356 keV ถึง 1332 keV พบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs มีการแยกชัดพลังงานเป็น 7.13% จากรูปภาพที่ 2



รูปภาพที่ 2 ค่า Energy spectra และค่าแยกชัดพลังงานของรังสีแกมมาที่มีพลังงาน 662 keV จาก ^{137}Cs

จากกราฟ รูปภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมา ซึ่งลดลงแบบเอกโปเนนเชียลเมื่อค่าพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น เนื่องจากโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กตริกของผลึกมีค่าน้อยลง ค่าโฟโตอิเล็กตรอนยิลด์ (phe/MeV) ค่าประสิทธิภาพการเปล่งแสง (ph/MeV) และค่าแยกชัดพลังงานของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1



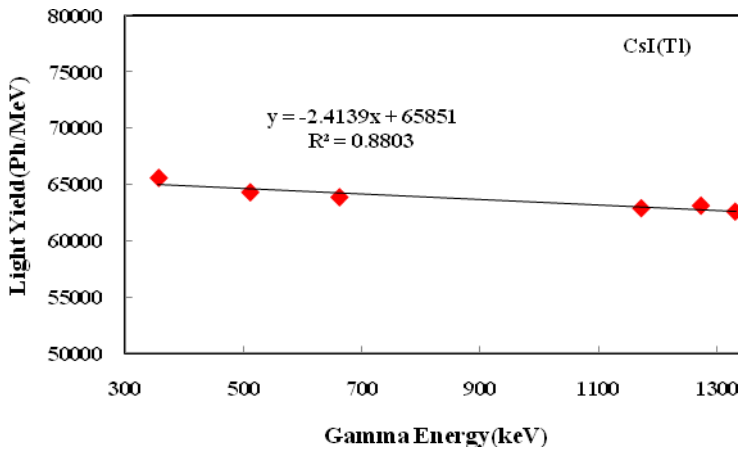
รูปภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์กราฟระหว่าง ค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

ตารางที่ 1 แสดงค่า โฟโตอิเล็กตรอนยิลด์ (phe/MeV) ค่ายิลด์แสง (ph/MeV) และค่าแยกชัดพลังงานของผลึก ซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

Crystal	Photoelectron yield [phe/MeV]	Light yield [ph/MeV]	$\Delta E / E$ [%]
CsI(Tl)	7662.63	63855.25	7.13

3.2 ค่ายิลด์แสง (Light Yield) ของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

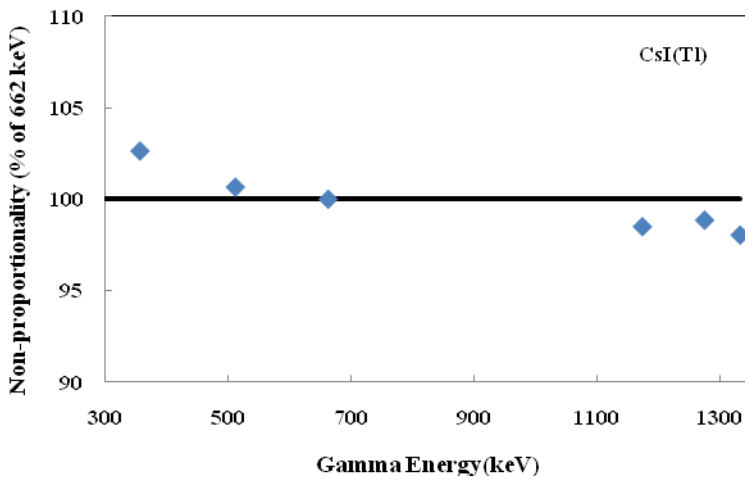
จากรูปภาพที่ 4 แสดงค่ายิลด์แสงของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) พบว่าเมื่อพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่ายิลด์แสงของผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นตาม โดยกราฟแสดงคุณสมบัติแบบเชิงเส้นตรงระหว่างค่ายิลด์แสงกับค่าพลังงานรังสีแกมมา และพบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs มีค่ายิลด์แสงเป็น 63855.25 ph/MeV



รูปภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ายิลด์แสงกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

3.3 ค่าความไม่เป็นสัดส่วนของค่ายิลด์แสงของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

จากรูปภาพที่ 5 ซึ่งแสดงความไม่เป็นสัดส่วนของค่ายิลด์แสงของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) ที่ทำการนอมอลไลซ์กับค่าที่พลังงาน 662 keV พบว่าความไม่เป็นสัดส่วนของค่ายิลด์แสงของผลึกลดลง 2.65% ในช่วงพลังงานจาก 356 keV ถึง 662 keV และในช่วงพลังงาน 662 keV ถึง 1332 keV ระดับการตอบสนองเชิงเส้นของค่ายิลด์แสงอยู่ในระดับ 1.97%



รูปภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความไม่เป็นสัดส่วนของค่ายิลด์แสงกับค่าพลังงานรังสีแกมมา

3.4 ค่าโฟโตแฟรคชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

การหาค่าโฟโตแฟรคชัน ซึ่งเป็นการหาสัดส่วนของการนับวัดรังสีภายใต้โฟโตพีคต่อค่านับวัดรังสีทั้งหมดของสเปกตรัมของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) จากตารางที่ 2 พบว่าผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) มีเปอร์เซ็นต์โฟโตแฟรคชันเท่ากับ 15.58% ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำเพราะมีค่าพื้นที่ใต้กราฟในส่วนโฟโตพีคน้อยและมีพื้นที่ช่วงคอมป์ตันมีค่ามาก โดยค่าสัดส่วนโฟโตแฟรคชันมีทิศทางเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของภาคตัดขวาง (Cross Section) ที่คำนวณมาจากโปรแกรมวินซ์เอ็กคอม (WinXcom Program) *(Gerward, L., et al, 2004)*

ตารางที่ 2 แสดงค่าโฟโตแฟรคชันของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl)

Crystal	Z_{eff}	Density [g/cm^3]	Photofraction [%]	σ - ratio [%]
CsI(Tl)	54	4.18	15.58	21.02

4. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาประสิทธิภาพการเปล่งแสงและการแยกชัดพลังงานในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมาของผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Tl) โดยนำมาประกอบกับหลอดทวีคูณแสงจากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากรูปภาพที่ 2 ซึ่งแสดงค่าแยกชัดพลังงาน พบว่าที่พลังงาน 662 keV จากต้นกำเนิดรังสี ^{137}Cs มีการแยกชัดพลังงานเป็น 7.13% รูปภาพที่ 3 เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแยกชัดพลังงานกับค่าพลังงานรังสีแกมมาซึ่งลดลงแบบเอกโปเนนเชียล เมื่อค่าพลังงานรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น มีค่ายิลด์แสงของผลึกเป็น 63855.25 ph/MeV และมีเปอร์เซ็นต์ โฟโตแฟรคชันเท่ากับ 15.58%

5. เอกสารอ้างอิง

เฉลิม วนะรักษ์. (2549). **การเปรียบเทียบผลึกซินทิลเลเตอร์ CsI(Na), NaI(Tl) และ BGO ในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา,** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ปนัดดา เคนมี. (2550). **การเปรียบเทียบผลึกซินทิลเลเตอร์ BGO และ LSO ในการวัดสเปกตรัมรังสีแกมมา**,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Chewpraditkul, W., Sreebunpeng, K., Nikl, M., Mares, Nejezchleb, J. A., K., Phunpueok, A. & Wanarak, C. (2012). “Comparison of $Lu_3Al_5O_{12}:Pr^{3+}$ and $Bi_4Ge_3O_{12}$ scintillators for gamma-ray detection”, **Radiation Measurements**, Vol. 47, pp. 1-5.

Dorenbos, P., De Haas, J. T. M. & Van Eijk, C. W. E. (1995). “Non-Proportionality in the Scintillation response and the Energy Resolution obtainable with Scintillation Crystals”, **IEEE Transactions on Nuclear Science**, Vol. 42, pp. 2190-2202.

Gerward, L., Guilbert, N., Jensen, KB. & Levring, H. (2004). “WinXCom – a program for calculating X-ray attenuation coefficients”, **Rad. Phys. Chem**, Vol. 71, pp. 653-654.

Kimble, T., Chou, M. & Chai, B. H.T. (2003). “Scintillation Properties of LYSO Crystals”, **Institute of Electrical and Electronics Engineers,** pp. 1434-1437.

Moszynski, M., Zalipska, J., Balcerzyk, M., Kapusta, M., Mengesha, W. & Valentine, J.D. (2002). “Intrinsic energy resolution of NaI(Tl)”, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, Vol. 484, pp. 259-269.

Phunpueoka, A., Chewpraditkul, W., Limsuwan, P. & Wanarak, C. (2012). “Light output and energy resolution of $Lu_{0.7}Y_{0.3}AlO_3$:Ce and $Lu_{1.95}Y_{0.05}SiO_5$:Ce scintillators”, **Procedia Engineering,** Vol. 32, pp. 564- 570.

Van Eijk, C.W.E. (2001). “New inorganic scintillators aspects of energy resolution”, **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, vol, 471. pp. 244-248.

Wanarak, C., Chewpraditkul, W. & Phunpueok, A. (2012). “Light yield non-proportionality and energy resolution of $Lu_{1.95}Y_{0.05}SiO_5$:Ce and Lu_2SiO_5:Ce scintillation crystals”, **Procedia Engineering**, Vol. 32, pp. 765-771.