Studies of quality control data under NEMA NU1-2001 to evaluate the performance of gamma camera

Nopparat Pongsawad *Potjanee Kanchanapiboon* *Pornpis Boonkorn*
Kittaya Boonnut *Nattapat Jantamool* *Rujaporn Chanachai**

Division of Nuclear Medicine, Department of Radiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital

**Corresponding author (Email: rujaporn.cha@mahidol.ac.th)*

Abstract

Objective: To show the application of data from the quality control and preventive maintenance under NEMA NU1-2001 for the practical performance evaluation of gamma camera.

Method: The study was divided into two parts: (1) the quality control data for gamma camera performances based on measurement of Intrinsic flood field Uniformity (IU), Intrinsic Energy Resolution (IER) and Peak Position (PP) on a weekly basis from January 2005 to March 2013 were to be retrospectively evaluated; (2) the current performances covering 14 parameters of the 5 specifications were to compare with the reference values certified by the manufacturer.

Results: In the first part, the mean±3SD (99.73% confidence interval) of the mean IU adjusted to the dimension of Central Field Of View (CFOV) for Detector 1 and Detector 2, were 2.66±1.27% and 2.54±1.27% respectively, with a trend to slightly increases each year. For the detector resolution, Detector 1 and Detector 2 exhibited IER of 9.23±0.32% and 9.38±0.25% respectively. The long-term resolution trends after the first service of both detectors were not significantly deviated when compared to the present data. For the last parameter, the mean PP for Detector 1 and Detector 2 were 139.31±0.76 and 139.30±0.61 keV respectively. They were absolutely identical. The percentage differences of the PP were negligible when compared to year of installation. In the second part, under NEMA NU1-2001, the current performance data of Specification 1, IER of both detectors of 9.10% and 9.30% were better than the reference values of 9.8%. Specification 2, PP of both detectors was within an acceptable limit. Specification 3 of both detectors passed 4 parameters of the Intrinsic Spatial Resolution reference values. Specification 4, Intrinsic Uniformity of both detectors also passed all criteria of the 4 parameters. The last specification, Intrinsic Spatial Linearity values of both detectors was superior to the reference values.

Conclusion: Regarding to the evaluation of the gamma camera performance under NEMA NU1-2001 after 8-year service and a preventive maintenance, three specifications of weekly QC have passed the regulations of performance tests within 99.73% confidence interval. Consequently, they can be used in the practical performance evaluation of gamma camera. ***Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 2013; 46(3): 215-231***

Keywords: *quality control, gamma camera, intrinsic flood field uniformity, weekly QC, energy resolution*

การศึกษาข้อมูลการควบคุมคุณภาพภายใต้ NEMA NU1-2001 เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องแกมมาคาเมรา

นพรัตน์ พงษ์สวัสดิ์ *พจนีย์ กาญจนพิบูลย์* *พรพิศ บุญก่อน*
กฤตยา บุญนุช *ณัฏฐพัชร จันต๊ะมูล* *รุจพร ชนะชัย**

สาขาวิชาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

**ผู้รับผิดชอบบทความ (Email: Rujaporn.cha@mahidol.ac.th)*

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อแสดงให้เห็นว่าข้อมูลการควบคุมคุณภาพและการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันเครื่องตามเกณฑ์ข้อกำหนด NEMA NU1-2001 สามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องในขณะใช้งานได้

วิธีการศึกษา: แบ่งการศึกษาข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งข้อมูลการทดสอบคุณภาพของเครื่องประจำสัปดาห์แบบ Intrinsic flood field Uniformity (IU), Intrinsic Energy Resolution (IER), Peak Position (PP) โดยการเก็บข้อมูลย้อนหลังช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2556 และส่วนที่สองการทดสอบคุณภาพเครื่องขณะใช้งานปัจจุบันเพื่อเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องในปีที่ติดตั้งโดยใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญจำนวน 5 เงื่อนไข 14 ปัจจัย

ผลการศึกษา: ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้แสดงในเทอมค่าเฉลี่ย ± 3SD (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73%) ส่วนที่ 1 การศึกษาข้อมูลใน 3 เงื่อนไขหลักในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเงื่อนไขที่ 1 ค่า IU ในส่วน Central Field Of View (CFOV) ของหัววัดที่ 1 และ หัววัดที่ 2 มีค่า 2.66±1.19% และมีค่า 2.54±1.27% ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าค่าเฉลี่ยแต่ละปีมีแนวโน้มสูงขึ้น เงื่อนไขที่ 2 ค่า IER ของหัววัด 1 และหัววัดที่ 2 มีค่า 9.23±0.32% และ 9.38±0.25% และค่าเฉลี่ยแต่ละปีของหัววัดทั้งสองเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตลอดระยะการใช้งานที่ผ่านมาเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปัจจุบัน เงื่อนไขที่ 3 ค่าเฉลี่ย PP ของหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 มีค่า 139.31±0.76 keV และ 139.30±0.61 keV ซึ่งใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของ PP แต่ละปีของหัววัดทั้งสองเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับปีที่ติดตั้ง ในส่วนที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคการทดสอบตามมาตรฐาน NEMA NU1-2001 จำนวน 5 เงื่อนไข 14 ปัจจัยพบว่าเงื่อนไขที่ 1 ค่า IER หัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 มีค่า 9.10% และ 9.30% ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าเกณฑ์อ้างอิงของเครื่องที่มีค่า ≤9.80% เงื่อนไขที่ 2 ค่า PP มีค่า 139.30 keV ทั้งสองหัววัดและอยู่ในช่วงเกณฑ์อ้างอิง เงื่อนไขที่ 3 ค่า Intrinsic Spatial Resolution และ เงื่อนไขที่ 4 ค่า Intrinsic Uniformity ของทั้งสองหัววัดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดทั้ง 4 ปัจจัย และเงื่อนไขที่ 5 ค่า Intrinsic Spatial Linearity ของทั้งสองหัววัดพบว่ามีค่าที่ดีกว่าค่าอ้างอิง

สรุปผล: ข้อมูลการควบคุมคุณภาพและการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันเครื่องตามเกณฑ์ข้อกำหนด NEMA NU1-2001 ของเครื่องแกมมาคาเมรา ที่มีอายุการใช้งานมาแล้ว 8 ปีและมีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ดีตลอดเวลานั้น พบว่า ค่าดัชนีทั้งสามที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพเครื่องประจำสัปดาห์ สามารถใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องในขณะใช้งานได้ ***วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2556; 46(3): 215-231***

คำหัส: *การควบคุมคุณภาพ เครื่องแกมมาคาเมรา Intrinsic flood field Uniformity การควบคุมคุณภาพประจำสัปดาห์, energy resolution*

บทนำ

การตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ด้วยเครื่องแกมมาคาเมรา เพื่อถ่ายภาพอวัยวะภายในร่างกายของผู้ป่วย มีประโยชน์ในการวินิจฉัยสภาวะการทำงานของอวัยวะ โดยการบริหารสารเภสัชรังสีเข้าสู่ร่างกายและกระจายไปจับอวัยวะเป้าหมาย สารเภสัชรังสีจะสลายตัวให้รังสีแกมมาออกจากอวัยวะที่สารเภสัชรังสีนั้นเข้าไปสะสมอยู่ทำให้สามารถถ่ายภาพการกระจายตัวและปริมาณความเข้มของรังสีแกมมาที่จับในอวัยวะที่ต้องการศึกษา จุดประสงค์หลักของการตรวจคือเพื่อวินิจฉัยลักษณะการทำงานของอวัยวะว่าปกติหรือมีความผิดปกติ ปัจจุบันข้อมูลภาพที่ได้จะเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถนำไปวิเคราะห์รายละเอียดของการตรวจได้เพิ่มขึ้นภายหลังจากการตรวจที่เวลาใด ๆ รวมทั้งสามารถวินิจฉัยพยาธิสภาพต่างๆ ของผู้ป่วยเพื่อนำไปสู่การป้องกันและรักษาโรคได้อีกด้วย การแปลผลข้อมูลภาพถ่ายอวัยวะผู้ป่วยโดยเทคนิคทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่แม่นยำและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่แพทย์มองเห็นในภาพและข้อมูลผลเชิงปริมาณ ส่วนสำคัญในการสร้างภาพจากการตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์โดยการใช้สารเภสัชรังสีคือหัววัดรังสี ซึ่งประกอบด้วยผลึก NaI(Tl) ใช้ในการตรวจจับรังสี หลอดขยายสัญญาณไฟฟ้าและวงจรอิเล็กทรอนิกส์การสร้างภาพเป็นต้น ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้มีความไวต่อคุณภาพของภาพเมื่อเกิดปัญหา การบำรุงรักษาเครื่องเชิงป้องกัน (preventive maintenance; pm) และการประกันคุณภาพ (quality assurance; QA) ของเครื่องแกมมาคาเมรา เพื่อสร้างความมั่นใจในการใช้เครื่องกับผู้ป่วยเป็นสิ่งสำคัญ วัตถุประสงค์การควบคุมคุณภาพเครื่อง (quality control; QC) คือการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพเครื่องแกมมาคาเมราที่อาจจะมีผลต่อการแปลผลทางคลินิก[1] สามารถทำได้โดยการตรวจสอบคุณภาพเครื่องก่อนใช้งานทุกวันหรือประจำสัปดาห์ของนักรังสีการแพทย์ เพื่อตระหนักว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ทำงานได้ถูกต้องและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของเครื่อง ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่นักรังสีการแพทย์จะต้องทำตามคู่มือการปฏิบัติงานหรือ work instruction (WI) ก่อนการใช้เครื่องแกมมาคาเมรากับผู้ป่วยทุกครั้งเพื่อประเมินประสิทธิภาพ หากหัววัดรังสีใดมีประสิทธิภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและนำไปใช้งานจะมีผลต่อคุณภาพของภาพและการวินิจฉัยของแพทย์เป็นสำคัญ เครื่องมือถ่ายภาพอวัยวะผู้ป่วยทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ทุกชนิด หลังจากติดตั้งและใช้งานแล้วคุณภาพของเครื่องที่ใช้จะค่อย ๆ เสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน มีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป คุณภาพของภาพที่ได้จากเครื่องอาจยากที่จะตรวจสอบพบความผิดปกติในภาพทางคลินิก แม้ว่าประสิทธิภาพเครื่องมือจะไม่คงที่ตามอายุการใช้งานหรือตามสภาพสิ่งแวดล้อมภายในห้องที่ติดตั้งเครื่องควรทำการตรวจสอบโดยการทดสอบประจำวัน ประจำสัปดาห์และตามระยะเวลาข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต หากพบความผิดปกติเกินเกณฑ์ที่กำหนดหรือการเสื่อมสภาพของหัววัดเมื่อใด จะได้ยกเลิกการใช้งานและดำเนินการแก้ไขในทันที[2, 3] การประเมินค่าประสิทธิภาพของเครื่องแกมมาคาเมราในช่วงตรวจรับเครื่องหลังการติดตั้ง และหลังจากที่มีการใช้งานในช่วงเวลาปกติเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องแกมมาคาเมราสามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนดไม่มีผลต่อการวินิจฉัยโรคของแพทย์ สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของเครื่องในช่วงการใช้งานและแจ้งผู้เกี่ยวข้องเข้ามาทำการแก้ไขได้[4] การทดสอบคุณภาพเครื่องแบบ Intrinsic Uniformity ประจำสัปดาห์และประจำวันจะเป็นตัวชี้วัดอันหนึ่งที่สำคัญเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพเครื่องและประเมินประสิทธิภาพเครื่องก่อนใช้งาน และเมื่อพบว่าเครื่องมีปัญหาจะช่วยแก้ปัญหาในการใช้เครื่องได้ทันท่วงทีไม่สามารถที่จะละเลยการทดสอบประจำวันก่อนใช้งานตรวจผู้ป่วยได้[5] วิธีการทดสอบและข้อกำหนดการประเมินประสิทธิภาพของเครื่อง มีการกำหนดเป็นมาตรฐานสากล เช่น NEMA NU1-2001[6] หรือเอกสารคำแนะนำจากทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (IAEA) รหัส TECDOC 60[7] และล่าสุดคือ NEMA NU1-2007 การบำรุงรักษาเครื่องเชิงป้องกันเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้เครื่องแกมมาคาเมรามีอายุการใช้งานนานมากขึ้น และเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนดในการใช้เครื่องมือทางการแพทย์

พารามิเตอร์สำคัญที่มีความไวต่อการตรวจสอบคุณภาพเครื่องแกมมาคาเมรา ที่กำหนดไว้และมีการแนะนำให้ปฏิบัติเป็นงานประจำที่ต้องทำและมีกล่าวถึงในบทความทางวิชาการ[4,5,8,9,10] ในการตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่อง เช่น Intrinsic Uniformity, Spatial Resolution, Spatial Linearity, Energy Resolution และ Peak Position เป็นต้น

ขอบเขตและวิธีการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. เครื่องแกมมาคาเมราแบบ SPECT ชนิดสองหัววัดรุ่น Infinia Hawkeyes ของบริษัท GE Medical System ที่ติดตั้งในสาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล เมื่อ ปี พ.ศ. 2548 รุ่น Millennium VG5 ความหนาผลึกหัววัด ⅝ นิ้วโดยมีอายุการใช้งานมาแล้ว 8 ปี

2. สารกัมมันตรังสี $^{99m}TcO_4^-$ แบบ point source ความแรงระหว่าง 300 - 500 µCi (11.1-18.5 MBq) ปริมาตร 0.1-0.2 มิลลิลิตร

3. ^{57}Co Flood Source

4. Quadrant Bar Phantom

5. Linearity X-Y Bar Phantom

6. คู่มือการทดสอบค่าคุณภาพเครื่องแกมมาคาเมรา NEMA NU1-2001

7. ข้อมูลเทคนิคของเครื่องแกมมาคาเมรารุ่น Millennium VG5 บริษัท GE (Product Data release- 6.4)[11]

8. โปรแกรมประมวลผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชัน 18

ขอบเขตการศึกษา

1. โดยการเก็บข้อมูลย้อนหลังของการทำการควบคุมคุณภาพประจำสัปดาห์ได้แก่ค่า Integral Uniformity (CFOV) ค่า Energy Resolution และค่า Peak Position ที่เก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 สัปดาห์ละ 1 ครั้ง การทดสอบจะมีข้อมูลจำนวน 407 ค่า

2. ทำการทดสอบคุณภาพเครื่องแกมมาคาเมราในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 จำนวน 1 ครั้ง ตามมาตรฐาน NEMA NU1-2001 เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดสอบของบริษัทผู้ผลิต (ข้อมูลอ้างอิง) ตามหัวข้อดังนี้

2.1 Intrinsic Energy Resolution

2.2 Peak Position

2.3 Intrinsic Spatial Resolution

2.4 Intrinsic Uniformity

2.5 Intrinsic Spatial Linearity

วิธีการศึกษา

การทดสอบการทำ Uniformity Flood Field Test หรือการทดสอบความสม่ำเสมอของหัววัดรังสีในการตรวจจับรังสี สามารถทำได้ 2 วิธี คือแบบ Intrinsic Uniformity เป็นการทดสอบหัววัดแบบไม่มีคอลลิเมเตอร์ โดยใช้ Point Source ของ $^{99m}TcO_4^-$ ใช้ในการทดสอบหัววัดแบบประจำสัปดาห์ก่อนใช้เครื่องทุกวันจันทร์ของสัปดาห์ และแบบ Extrinsic Uniformity เป็นการทดสอบหัววัดแบบมีคอลลิเมเตอร์ประกอบ โดยใช้ ^{57}Co Flood Source ใช้ในการทดสอบหัววัดแบบประจำวันก่อนใช้เครื่องทุกวัน ในการคำนวณค่า Intrinsic Uniformity จะคำนวณจากค่าการนับวัดปริมาณรังสีสูงสุดและค่าปริมาณรังสีต่ำสุดต่อพิกเซลในภาพที่บันทึกได้ตลอดพื้นที่ของหัววัด เรียกว่า Integral Uniformity แบบ Useful Field of View (UFOV) และที่ 75% ของพื้นที่ของ UFOV เรียกว่า Central Field of View (CFOV)

ซึ่งมีสูตรในการคำนวณค่า Integral Uniformity แบบ UFOV และแบบ CFOV ดังนี้

$$\text{Integral Uniformity (IU)} = \frac{\text{Maximum counts} - \text{Minimum counts}}{\text{Maximum Counts} + \text{Minimum counts}} \times 100\%$$

ปัจจุบันเครื่องแกมมาคาเมราสมัยใหม่ของทุกบริษัทมีโปรแกรมการควบคุมคุณภาพเครื่องสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ช่วยให้ตรวจสอบข้อมูลง่ายขึ้น สามารถแสดงผลข้อมูลการคำนวณและภาพที่เกี่ยวข้องในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ ผลการทดสอบค่า Intrinsic Uniformity แสดงในรูปที่ 1 และผลการทดสอบค่า Extrinsic Uniformity ค่า Energy Resolutionและค่า Peak Position แสดงในรูปที่ 2 รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบเครื่องแกมมาคาเมรามีขั้นตอนอธิบายในเอกสารอ้างอิง 6 และ 7

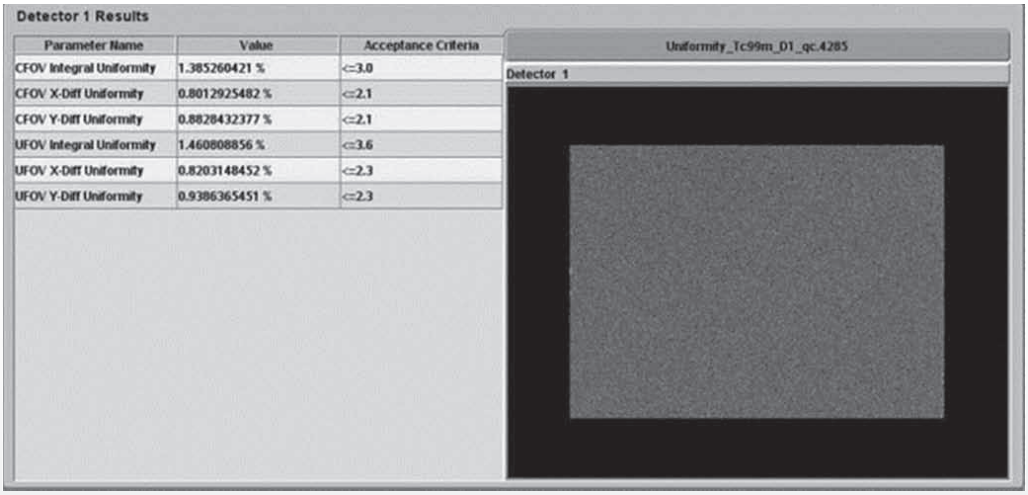


Figure 1 The image of weekly QC (intrinsic uniformity) by $^{99m}TcO_4^-$ point source: Left side: quantitative data and Right side: uniformity image of detector

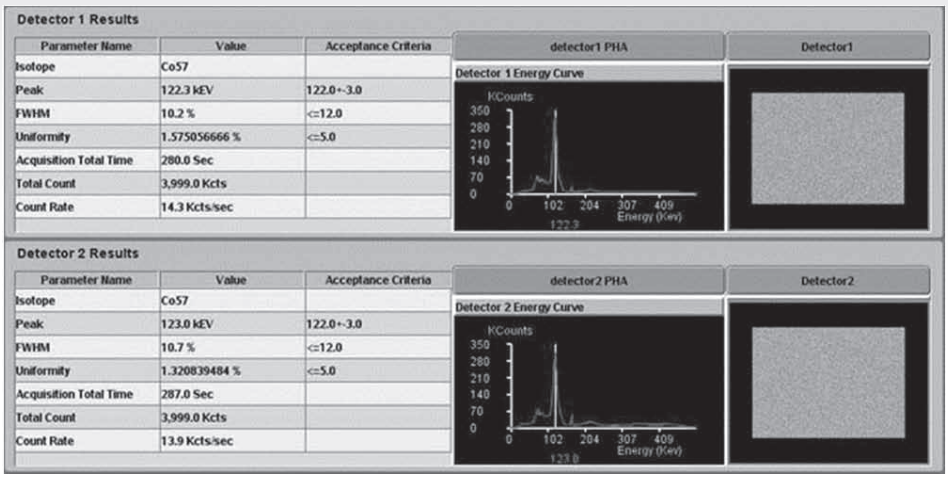


Figure 2 The image of Daily QC (Extrinsic Uniformity) by ^{57}Co sheet source: Left side: Integral Uniformity, Energy Resolution and Peak Position values and Right side: uniformity image of detector of both detectors

ผลการศึกษา

1. การศึกษาข้อมูลการควบคุมคุณภาพเครื่องประจำสัปดาห์ระหว่างการใช้งานประกอบด้วยค่า Intrinsic Uniformity แบบ CFOV ค่า Energy Resolution และค่า Peak Position เก็บข้อมูลย้อนหลัง ตั้งแต่เดือนมกราคม ปี พ.ศ. 2548 ถึงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2556 จำนวน 407 ค่า

1.1 การศึกษาค่า Integral Uniformity แบบ CFOV

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่เป็นประเด็นสำคัญมากที่สุดในการประเมินประสิทธิภาพของหัววัดรังสี แสดงเฉพาะค่า Integral Uniformity แบบ CFOV ของหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 จำนวน 407 ค่าแสดงในรูปที่ 3

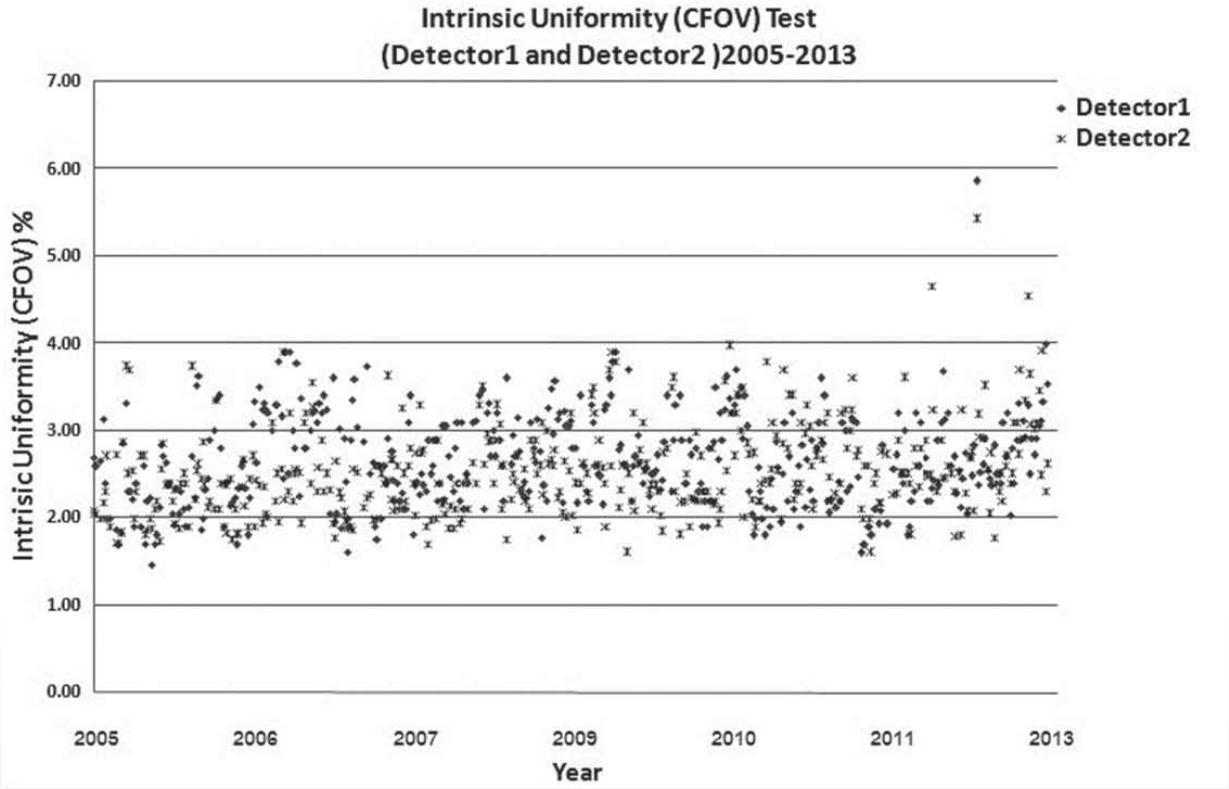


Figure 3 Integral Uniformity (CFOV) of Detector 1 and Detector 2 between January, 2005 and March, 2013, totally 407 values

การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อตรวจสอบหาค่าของความแปรผันที่อยู่ในระดับคุณภาพมาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุม (Mean±3SD) ที่กำหนดไว้โดยเลือกใช้การวิเคราะห์แบบ Quality control จากโปรแกรม SPSS ดังนั้นหากค่าที่สังเกตอยู่ภายใต้ขอบเขตดังกล่าว แสดงว่าค่าที่ได้มีคุณภาพตรงตามมาตรฐาน ในทางตรงข้ามซึ่งหากพบว่าเกินจากขอบเขตที่กำหนดไว้ แสดงว่าค่าที่ได้เกินกว่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ต้องหาสาเหตุของความแปรผันและดำเนินการแก้ไขก่อนที่จะเกิดความเสียหายขึ้นกับเครื่องแกมมาแคมเมรา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในตารางที่ 1

Table 1 Summary all the quality control data analysis of weekly QC by SPSS version 18

Quality Control Statistics					
Parameter	No. of Data	Mean	3SD	UCL[1]	LCL[2]
IU[3](CFOV)_D1[4]	407	2.66	1.19	3.86	1.46
IU(CFOV)_D2[5]	407	2.54	1.27	3.81	1.27
Mean_ IU(CFOV)_D1	9	2.70	0.73	3.43	1.96
Mean_ IU(CFOV)_D2	9	2.60	0.31	2.91	2.29
IER[6]_D1	407	9.23	0.32	9.55	8.92
IER_D2	407	9.38	0.25	9.63	9.13
Mean_IER_D1	9	9.23	0.13	9.36	9.10
Mean_IER_D2	9	9.38	0.15	9.53	9.22
PP[7]_D1	407	139.31	0.76	140.0754	138.5536
PP_D2	407	139.31	0.61	139.9101	138.7051
Mean_ PP_D1	9	139.35	1.1316	140.4817	138.2185
Mean_ PP_D2	9	139.33	1.1327	140.4615	138.1961

[1]UCL = Upper Control Limit, [2]LCL = Lower Control Limit, [3]IU = Intrinsic Uniformity,

[4]D1 = Detector 1, [5]D2 = Detector 2, [6]IER = Intrinsic Energy Resolution, [7]PP = Peak Position

การศึกษาค่า Intrinsic Uniformity โดยแสดงผลในเทอมค่าเฉลี่ย ± 3SD (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73%) พบว่าค่าเฉลี่ยของ Integral Uniformity แบบ CFOV สำหรับหัววัดที่ 1 มีค่า 2.66±1.19% แสดงในรูปที่ 4 โดยค่าที่ผิดปกติที่อยู่นอกขอบเขตการควบคุมนั้นเกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 375 ซึ่งจากข้อมูลการทำการควบคุมคุณภาพประจำวันพบว่ามีการเกิด peak shift ของ ^{57}Co จากค่ามาตรฐานที่ 122 keV เป็น 126 keV และภายในวันเดียวกันได้ทำ calibrate uniformity map ของเครื่องใหม่ ในขณะที่หัววัดที่ 2 พบว่าค่าของ Intrinsic Uniformity แบบ CFOV มีค่า 2.54±1.27% แสดงในรูปที่ 5 ค่าผิดปกติที่อยู่นอกขอบเขตการควบคุมที่เกิดขึ้นสัปดาห์ที่ 356 และ 397 ยังอยู่ภายใต้ค่ายอมรับมาตรฐานการใช้งาน ≤5% ยกเว้นค่าผิดปกติ >5% ที่เกิดขึ้นในสัปดาห์ที่ 375 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ย Intrinsic Uniformity แบบ CFOV ในการทำการควบคุมคุณภาพประจำสัปดาห์ของแต่ละปีมีความแตกต่างกันในแต่ละหัววัดโดยหัววัดที่ 1 มีค่า 3SD = 0.7344 มีการกระจายตัวของข้อมูลมากกว่าหัววัดที่ 2 มีค่า 3SD = 0.3093 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของหัววัดที่ 2 มีความเสถียรมากกว่าหัววัดที่ 1 ถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามในค่าเฉลี่ย Intrinsic Uniformityแบบ CFOV ของทั้งสองหัววัดมีแนวโน้มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกันแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

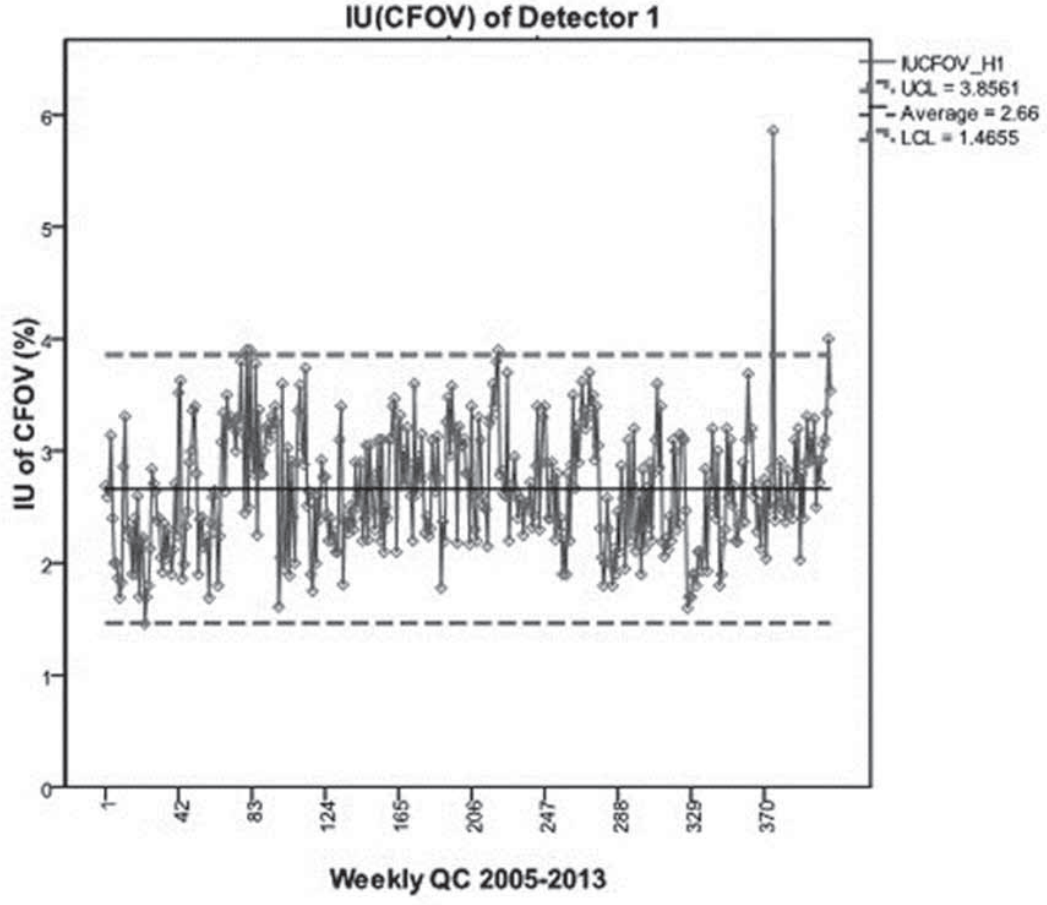


Figure 4 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 1 by quality control chart analysis of weekly intrinsic uniformity (CFOV) values

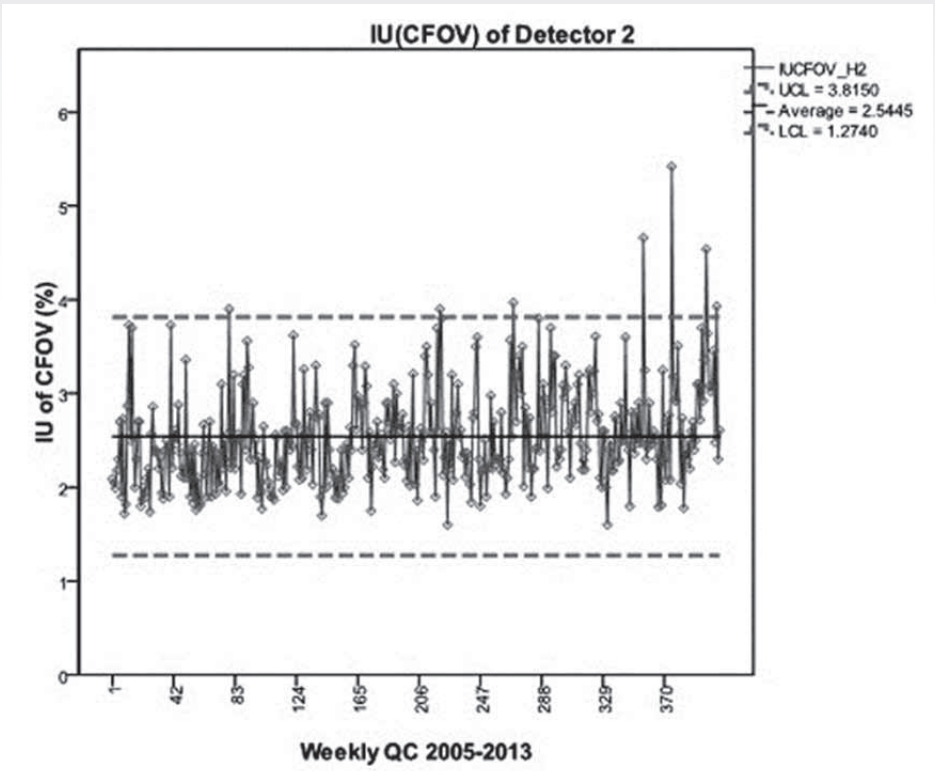


Figure 5 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 1 by quality control chart analysis of weekly intrinsic uniformity (CFOV) values

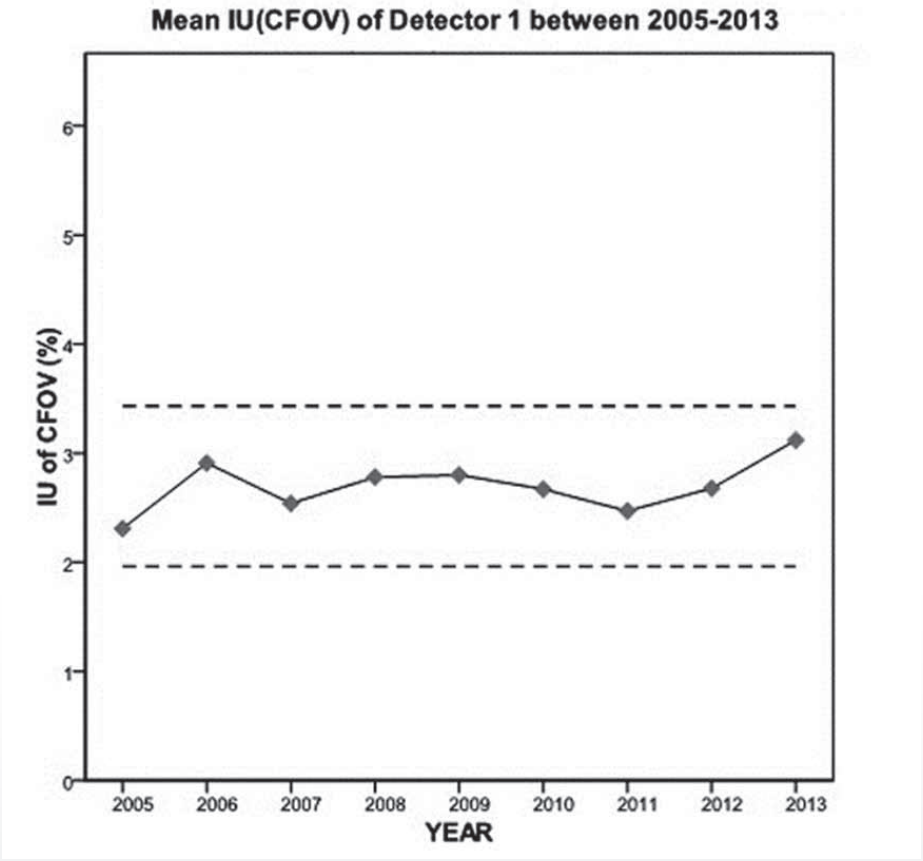


Figure 6 Quality control chart of mean weekly Intrinsic Uniformity (CFOV) values of Detector 1 per year

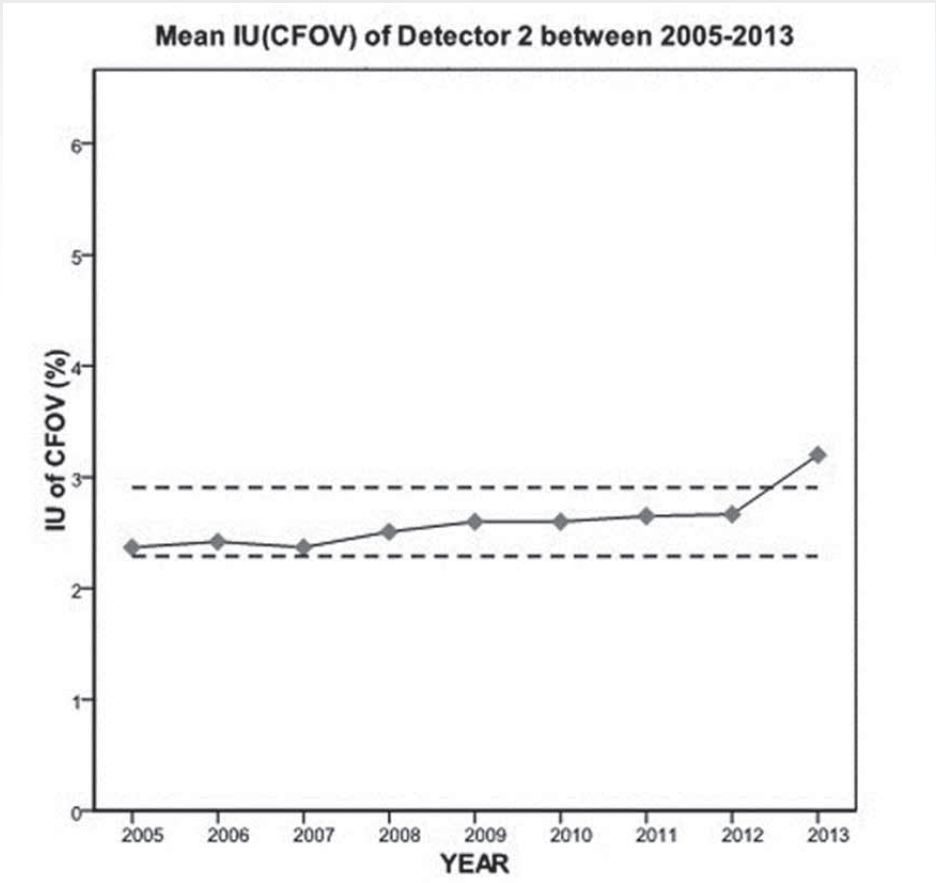


Figure 7 Quality control chart of mean weekly Intrinsic Uniformity (CFOV) values of Detector 2 per year

การศึกษาภาพถ่ายการทดสอบหัววัดที่ 1 จากข้อมูลในสัปดาห์ที่ค่า Intrinsic Uniformity แบบ CFOV สูงกว่าปกติ สามารถมองเห็นความผิดปกติที่บริเวณขอบด้านขวามือของหัววัดรังสี แสดงในรูปที่ 8 ภายในพื้นที่วงกลมขวามือ ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ได้วิเคราะห์พบว่าค่า Intrinsic Uniformity แบบ CFOV = 5.86% ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับในการใช้เครื่องคือ ≤ 5.0% และทำการแก้ไขปรับแต่งหัววัดรังสีใหม่โดยวิศวกรบริษัทในวันที่ตรวจพบ หลังจากนั้นทำการทดสอบหัววัดที่มีปัญหาตามมาตรฐาน NEMA NU1-2001 ได้ค่า Intrinsic Uniformity แบบ CFOV = 1.83% ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่พบส่วนผิดปกติใด ๆ ในภาพ แสดงในรูปที่ 9 สามารถใช้เครื่องในการตรวจผู้ป่วยต่อไปได้ตามปกติ

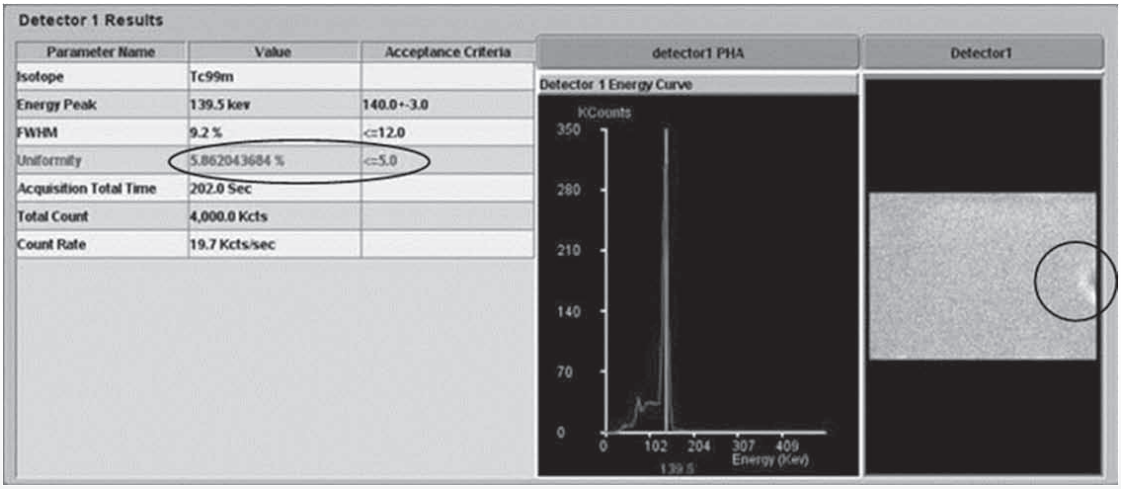


Figure 8 Data and abnormal uniformity image of the intrinsic uniformity (CFOV) test which unqualified with QC reference value

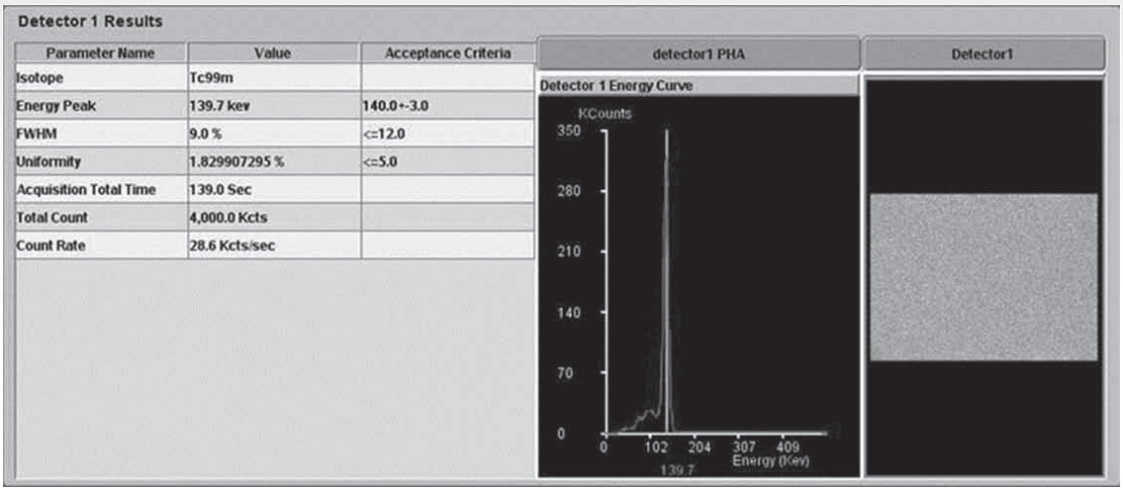


Figure 9 Data and normal uniformity image of the intrinsic uniformity (CFOV) test which qualified with QC reference value

1.2 การศึกษาค่า Energy Resolution

พบว่าค่าเฉลี่ย Energy Resolution ของหัววัดที่ 1 มีค่า 9.23±0.32% ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73% แสดงในรูปที่ 10 โดยมีค่าที่สูงกว่าปกติจำนวนหนึ่งแต่อยู่ภายใต้ค่าข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่อง <9.80% ในขณะที่เกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ของเครื่องในการใช้งาน <12% ในขณะที่หัววัดที่ 2 มีค่า 9.38±0.25% แสดงในรูปที่ 11 โดยมีค่าที่สูงกว่าปกติจำนวน 8 ครั้งจากทั้งสิ้น 407 ครั้ง โดยมีค่าการทดสอบในสัปดาห์ที่ 76 และสัปดาห์ที่ 390 เท่านั้นที่สูงมากกว่าค่าข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่อง แต่อย่างไรก็ดีค่าที่พบอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ของเครื่องในการใช้งาน ในการศึกษาค่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของค่า Energy Resolution พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลของหัววัดที่ 1 มีค่า 3SD = 0.1299 มีค่าน้อยกว่าของหัววัดที่ 2 ซึ่งมีค่า 3SD = 0.1522 แต่อย่างไรก็ตามในแต่ละปี ค่า Energy Resolution ของหัววัดทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยตลอดช่วงเวลาการใช้งานที่ผ่านมาแสดงในรูปที่ 12 และรูปที่ 13

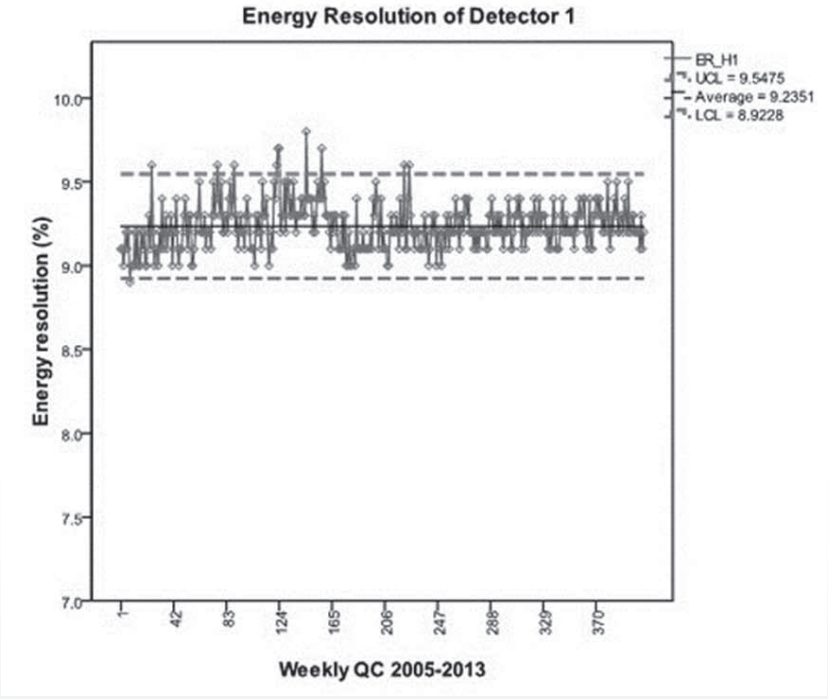


Figure 10 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 1 by quality control chart analysis of weekly Energy Resolution values

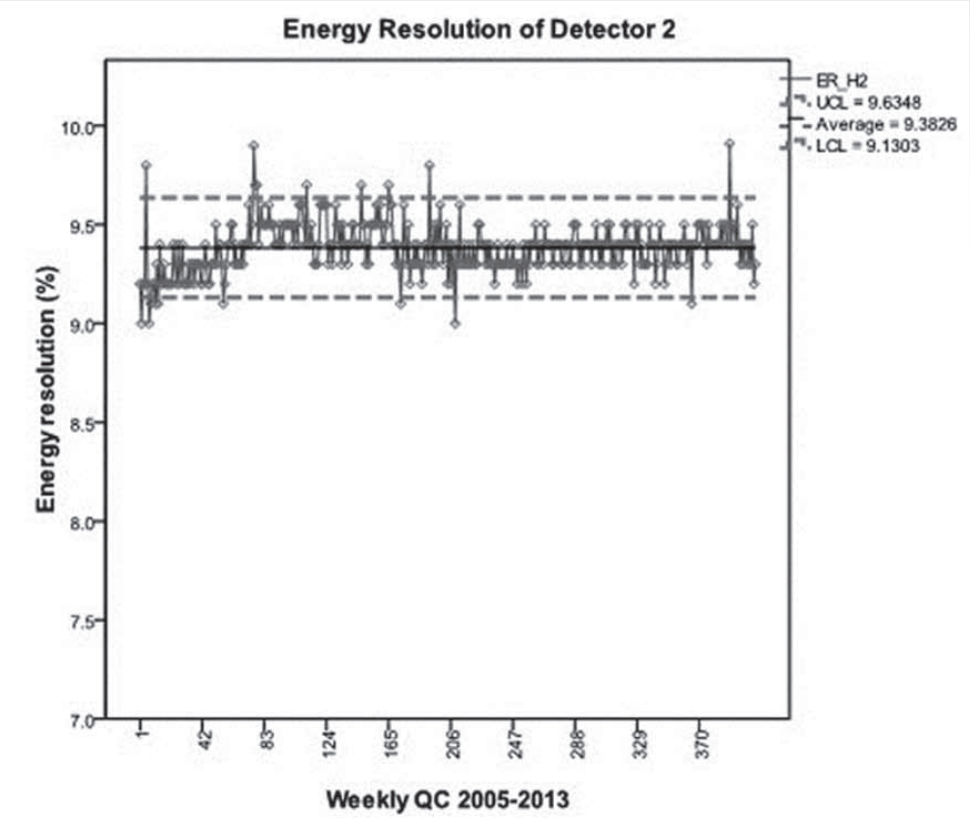


Figure 11 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 2 by quality control chart analysis of weekly Energy Resolution values

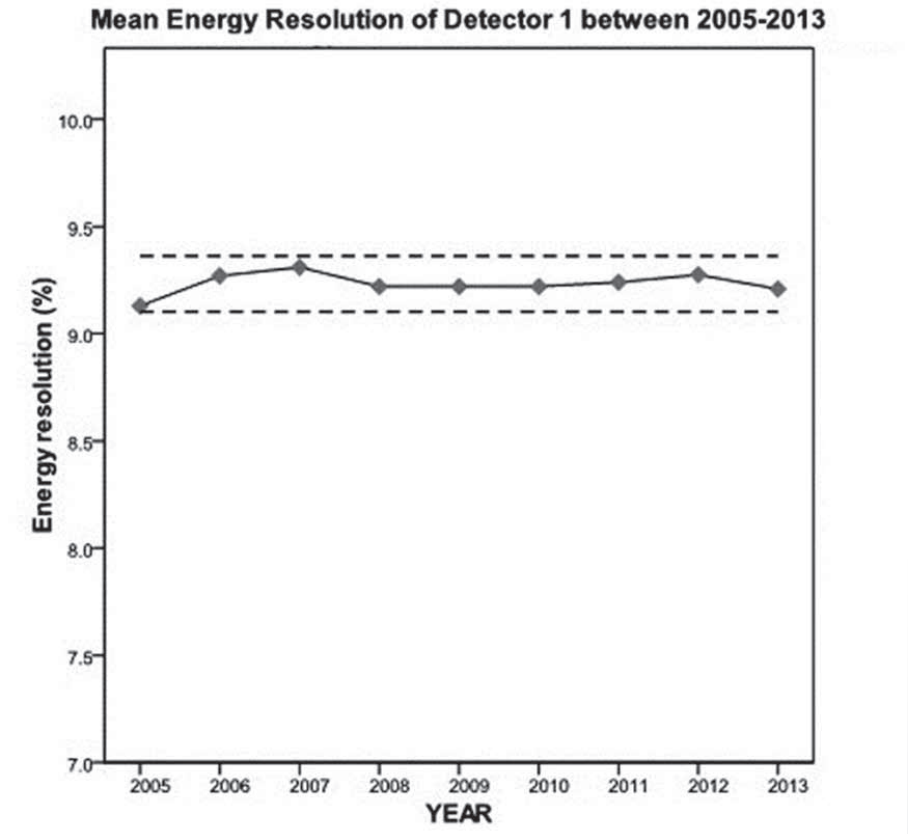


Figure 12 Quality control chart analysis of mean weekly Energy Resolution values of Detector 1 per year

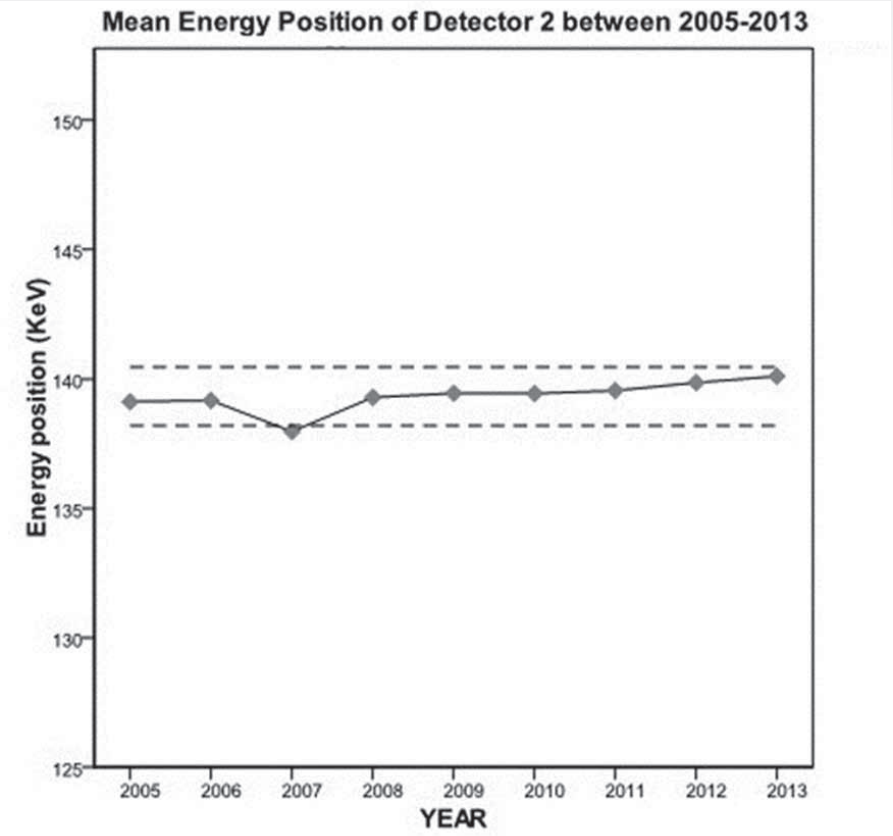


Figure 13 Quality control chart analysis of mean weekly Energy Resolution values of Detector 2 per year

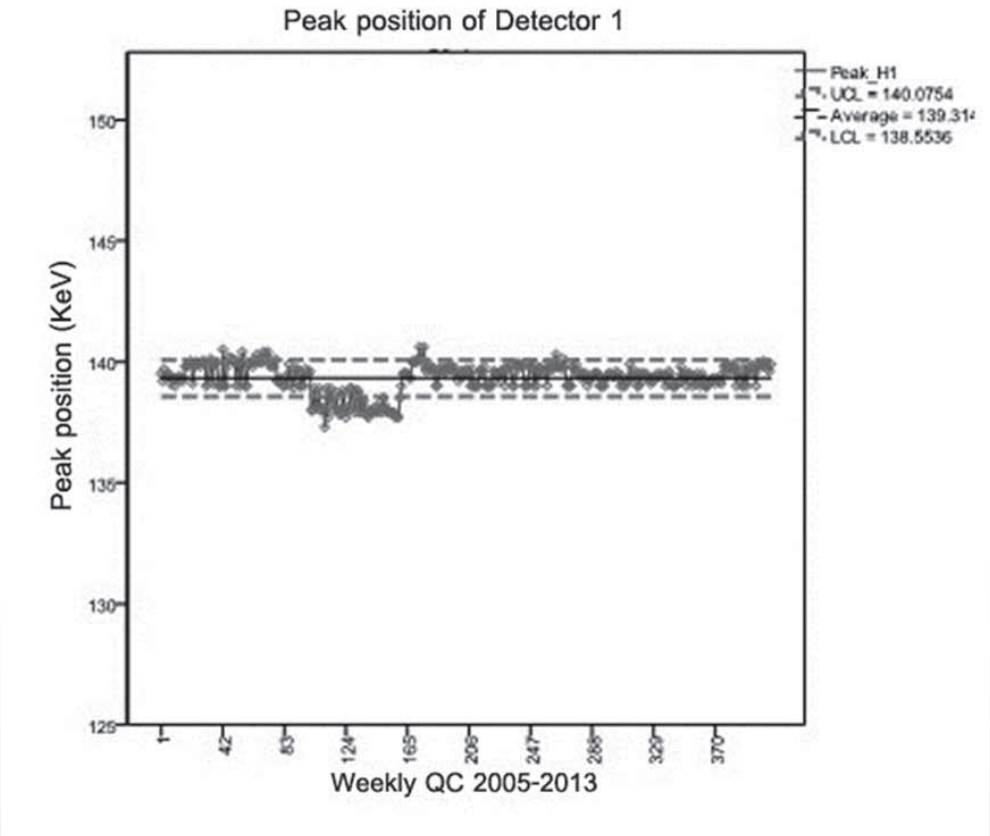


Figure 14 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 1 by quality control chart analysis of weekly Peak Position values

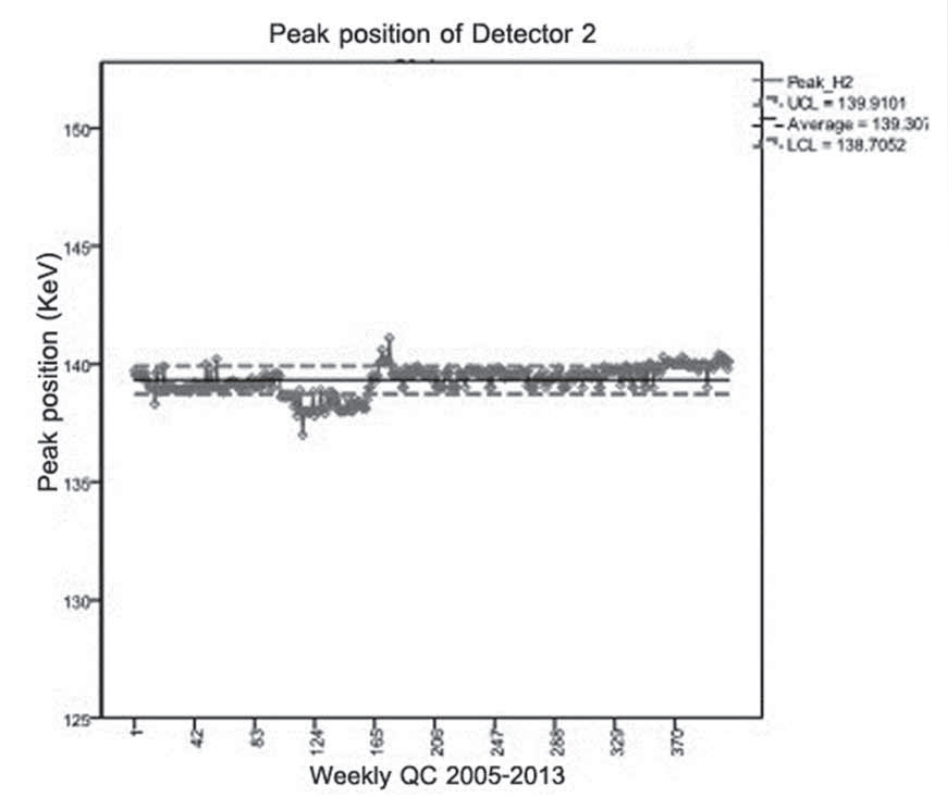


Figure 15 Determination of data variation of error and the cause of degraded image quality of Detector 2 by quality control chart analysis of weekly Peak Position values

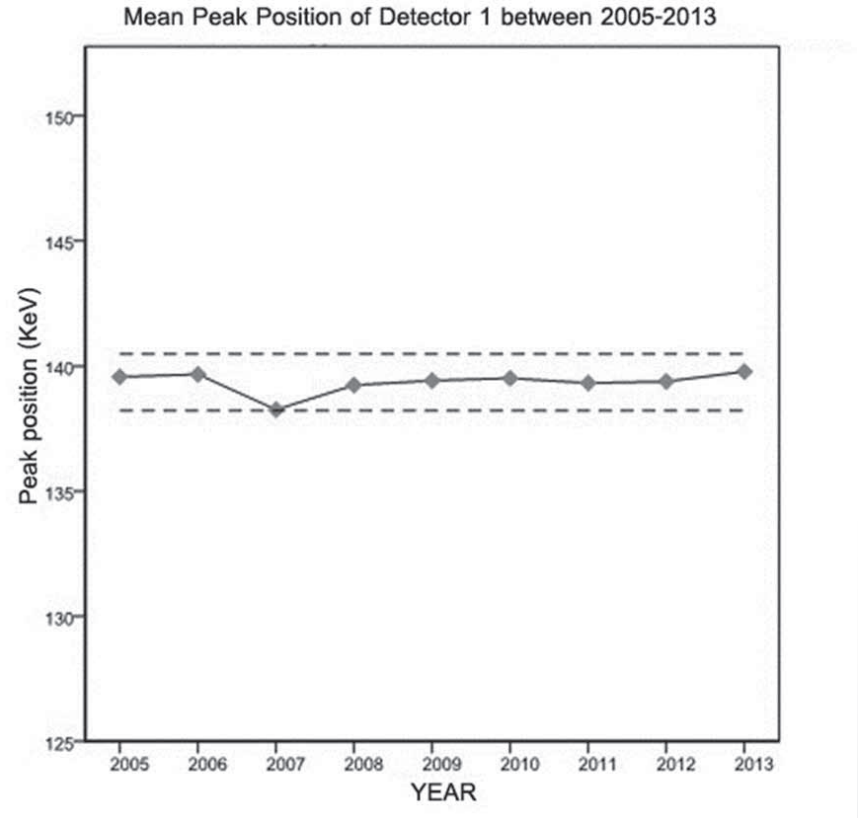


Figure 16 Quality control chart analysis of mean Peak Position values of Detector 1 per year

1.3 การศึกษาค่า Peak Position

สำหรับหัววัดที่ 1 พบว่าค่าของระบบอยู่ที่ 139.31±0.76 keV ในขณะที่หัววัดที่ 2 พบว่าค่าของระบบอยู่ที่ 139.30±0.61 keV ที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73% แสดงในรูปที่ 14 และรูปที่ 15 โดยทุกค่าที่ได้จากหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 นั้นมีใกล้เคียงกับค่า Photo Peak ของ ^{99m}Tc =140 keV และน้อยกว่า ±3 keV นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยการควบคุมคุณภาพประจำสัปดาห์ของ Peak Position ของหัววัดทั้งสองในแต่ละปีนั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าอยู่ระหว่าง ±1% เมื่อเทียบกับปีที่ติดตั้งและค่าเฉลี่ย Peak Position แต่ละปีของหัววัดที่ 2 มีค่า 3SD = 1.1327 สูงกว่าหัววัดที่ 1ที่มีค่า 3SD = 1.1316 ในช่วงเวลาเดียวกันแสดงในรูปที่ 16 และรูปที่ 17

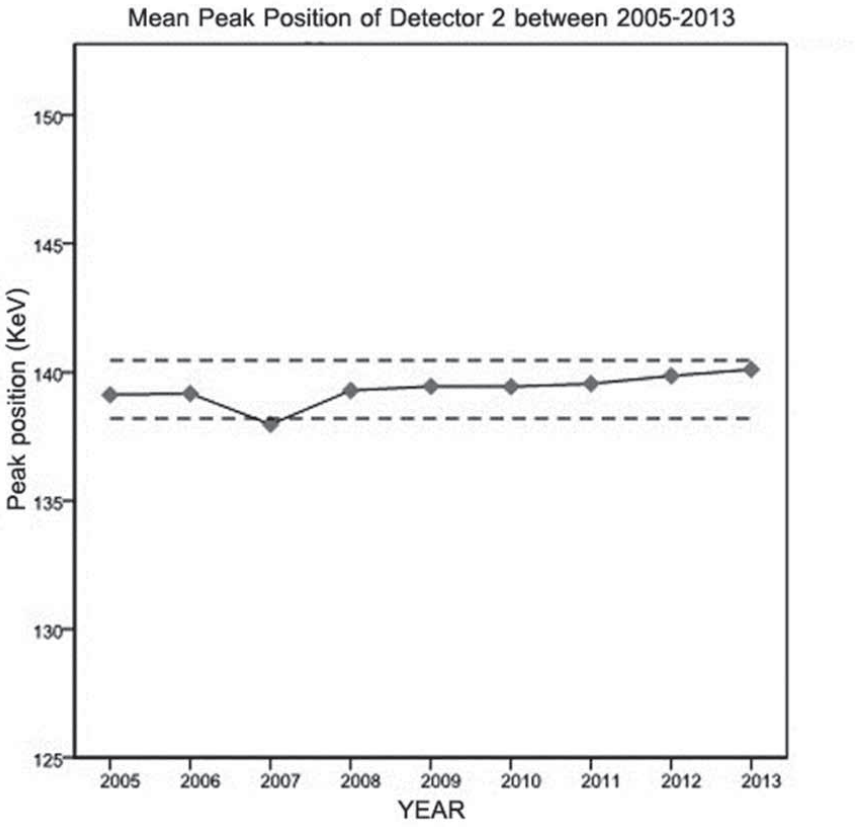


Figure 17 Quality control chart analysis of mean Peak Position values of Detector 2 per year

2. การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องจากเอกสารอ้างอิงของบริษัท (Reference Values) กับผลการทดสอบของนักวิจัย (Measured Values) ในปี พ.ศ. 2556 จำนวน 5 เงื่อนไขและ 14 ปัจจัย ที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพเครื่องตามเกณฑ์มาตรฐาน NEMA NU1-2001[12] แสดงในตารางที่ 2

จากตารางการศึกษาข้อมูลทางเทคนิคโดยการทดสอบตามมาตรฐาน NEMA NU1-2001 ของเครื่องแกมมาคาเมราจำนวน 5 เงื่อนไข 14 ปัจจัย พบว่า เงื่อนไขที่ 1 ค่า Intrinsic Energy Resolution เป็นคุณสมบัติที่แสดงความสามารถของเครื่องในการแยกชนิดของพลังงานของรังสี พบว่าค่าที่ได้จากทั้งสองหัววัดมีค่า 9.1% และ 9.3% ตามลำดับ ซึ่งดีกว่าเกณฑ์ค่าอ้างอิงของเครื่องที่ ≤9.8% เงื่อนไขที่ 2 ค่า Peak Position เป็นคุณสมบัติที่แสดงความสามารถของเครื่องในการบ่งบอกตำแหน่งของพลังงานรังสีที่ใช้ พบว่าค่าที่ได้จากการทำการทดสอบมีค่า 139.3 keV ทั้งสองหัววัดและอยู่ในช่วงเกณฑ์ค่าอ้างอิงมาตรฐานของเครื่อง 140±3.0 keV เงื่อนไขที่ 3 ค่า Intrinsic Spatial Resolution เป็นคุณสมบัติที่แสดงความสามารถของเครื่องในการแยกตำแหน่งสองตำแหน่งที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด พบว่ามีค่าต่ำกว่าหรืออีกนัยหนึ่งค่าดีกว่าค่าอ้างอิงของเครื่องทั้ง 4 ปัจจัย สำหรับหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 เงื่อนไขที่ 4 ค่า Flood Field Uniformity เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องในการแสดงความสม่ำเสมอของหัววัดรังสีในการตรวจจับรังสี พบว่าทั้ง 4 ปัจจัย ของหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดในการใช้เครื่องและเงื่อนไขที่ 5 ค่า Intrinsic

Spatial Linearity เป็นคุณสมบัติที่แสดงความสามารถของเครื่องเพื่อบอกความเป็นเส้นตรงที่ไม่มีการบิดเบือน (distortion) ของภาพ โดยตรวจวัดด้วย 4 ปัจจัยพบว่าหัววัดที่ 1 และหัววัดที่ 2 ทั้ง 4 ปัจจัยมีค่าที่ดีกว่าค่าอ้างอิงของเครื่อง

Table 2 Comparison between the reference values and the measured values in March 2013

No	Specification	Parameter	Reference Values	Measured Values	
			D1[1], D2[2]	D1 (n=1)	D2 (n=1)
1	Intrinsic Energy Resolution	%	≤9.8	9.1	9.3
2	Peak Position	keV	140±3.0	139.3	139.3
3	Intrinsic Spatial Resolution	CFOV: FWHM (mm)	≤4.50	4.15	4.13
		FWTM (mm)	≤8.50	7.88	7.86
		UFOV:FWHM (mm)	≤4.60	4.25	4.27
		FWTM (mm)	≤8.70	8.09	8.13
4	Flood Field Uniformity	CFOV: Differential (%)	≤2.10	1.85	1.82
		Integral (%)	≤3.00	2.53	2.50
		UFOV: Differential (%)	≤2.30	2.11	2.10
		Integral (%)	≤.60	2.95	2.92
5	Intrinsic Spatial Linearity	CFOV: Differential (mm)	≤0.10	0.03	0.03
		Absolute (mm)	≤0.40	0.15	0.17
		UFOV: Differential (mm)	≤0.10	0.04	0.06
		Absolute (mm)	≤0.40	0.27	0.32

[1]D1 =Detector 1 , [2]D2 = Detector 2

สรุปและอภิปรายผลการศึกษา

การศึกษาทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Intrinsic uniformity[3] ได้แก่ ความแรงของสารกัมมันตรังสีที่ใช้จำนวนของค่านับวัดที่เก็บรวบรวม ระยะห่างระหว่างสารกัมมันตรังสีหัววัดรังสี ปริมาตรของสารกัมมันตรังสีที่ใช้และขนาดของภาพที่บันทึกจากการวิเคราะห์ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้คือปัจจัยในเรื่องของความแรงรังสีและปริมาตรของสารกัมมันตรังสีที่ใช้ เนื่องจากปัจจัยทั้งสองขึ้นอยู่กับความชำนาญและเชี่ยวชาญของนักรังสีการแพทย์เป็นสำคัญ โดยไม่พบว่าถ้าความแรงของรังสีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อค่า Integral Uniformity เป็นในรูปแบบเชิงเส้น

ค่า Energy Resolution สามารถหาได้จากการคำนวณค่าความกว้างของพีค (Full Width at Half Maximum: FWHM) เทียบกับพลังงานของรังสีแกมมาของสารกัมมันตรังสี และค่า Spatial Resolution หาได้จากค่า FWHM เพียงอย่างเดียว โดยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความกว้างของพีคประกอบด้วย สถิติของการเกิดประจุในหัววัดรังสี ความสมบูรณ์ของการรวบรวมประจุที่เกิดขึ้นและสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบการวัดรังสี จากปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่เกิดจากสมรรถภาพของเครื่องที่เปลี่ยนแปลงไป (Random errors)[13,14]

ดังนั้นจากการศึกษาข้อมูลการควบคุมคุณภาพเพื่อใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพของหัววัดรังสีของเครื่องแกมมาคาเมรา ที่มีอายุการใช้งานมาแล้ว 8 ปี และมีการซ่อมบำรุง การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ดีตลอดเวลานั้น ถึงแม้จะพบว่าค่า Integral Uniformity ค่า Energy Resolution และค่า Peak Position ของทั้งสองหัววัดจากการทำการควบคุมคุณภาพประจำสัปดาห์มีการ

เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลา แต่ก็ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ในการใช้เครื่องที่ระดับความเชื่อมั่น 99.73% นอกจากนี้ผลจากการทดสอบคุณภาพของเครื่องตามมาตรฐาน NEMA NU1-2001 เปรียบเทียบ 5 เงื่อนไข 14 ปัจจัย ระหว่างค่าจำเพาะอ้างอิงของบริษัทผู้ผลิต กับการควบคุมคุณภาพเครื่องแบบประจำวันและประจำสัปดาห์ สามารถบ่งชี้ได้ว่าเครื่องแกมมาคามารามีประสิทธิภาพในการตรวจวินิจฉัยโรคด้วยการถ่ายภาพอย่างถูกต้อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ต้องขอขอบคุณคุณอดิสรณ์ ชไนศวรรย์ วิศวกรบริษัท ยีอี เมดิคอล ซิสเต็มส์ (ประเทศไทย) จำกัดที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือเพื่อทดสอบเครื่อง ขอขอบคุณ ศ.คลินิก นพ.สุธี ณ สงขลา ที่เป็นกำลังใจและแนะนำการทำวิจัยอย่างต่อเนื่อง ขอขอบคุณ รศ. มลุลี ตัณฑวิรุฬห์ ในการตรวจแก้บทคัดย่อภาษาอังกฤษและขอบคุณสาขาวิชาเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. O'Connor MK. Quality Control of Scintillation Cameras (Planar and SPECT). Mayo Clinic, Rochester, MN, published on the website of the American Association of Physicists in Medicine.
2. IAEA Quality Control Atlas for Scintillation Gamma Systems Vienna: International Atomic Energy Agency. (2003).
3. Elkamhawy AA, Rothenbach JR, Damaraju S, Badruddin SM. Intrinsic uniformity and relative sensitivity quality control tests for single-head gamma cameras. J Nucl Med Technol. 2000; 28(4): 252-6.
4. Murphy PH. Acceptance testing and quality control of gamma cameras, including SPECT. Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine. 1987; 28(7): 1221-7.
5. Zanzonico P. Routine quality control of clinical nuclear medicine instrumentation: a brief review. Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine. 2008; 49(7): 1114-31.
6. National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Performance Measurements of Scintil lation Cameras; NEMA Standards Publication NU 1-2001.2001.
7. IAEA TECDOC-602. Quality Control of Nuclear Medicine Instruments.1991.
8. Ejeh JEA, Kayode S. The Impact of Daily Flood Uniformity Test on Quality of Images: A Case Report. Journal of Nuclear Medicine & Radiation Therapy. 2012; 3 (3): 1.
9. Busemann Sokole E, Plachcinska A, Britten A, et al. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation. European journal of nuclear medicine and molecular imaging. 2010; 37(3): 662-71.
10. Ejeh JE, Adedapo KS, Akinlade BI, Osifo BO. Gamma camera intrinsic uniformity in an unstable power supply environment. Hellenic journal of nuclear medicine. 2011; 14(2): 146-8.

11. Product Data - Millennium VG Variable-Geometry Dual Detector Gamma Camera 2/2003 H3000YA VG3 - 3/8" Crystal Acquisition System H3000YB VG5-5/8" Crystal Acquisition System. GE Medical System.Release 6.4 (2003)
12. Society of Nuclear Medicine performance and responsibility guidelines for NMT: revision 2003. Society of Nuclear Medicine Procedure Guidelines Manual. (Accessed March 15, 2007.) Available at: http://interactive.snm.org/docs/pg_ch16_0803.pdf.
13. Knoll GF. Radiation detection and measurement New York John Wiley & Sons1979.
14. Baechler S, Bochud, F., Verdun, F.R., et al. Feasibility of the gamma camera acceptance testing procedure introduced by the Swiss Federal Office of public health. Second European IRPA congress on radiation protection - Radiation protection: from knowledge to action, France. 2005.