หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์

4.1 บทนำ

วัตถุประสงค์อย่างหนึ่งของหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์คือการศึกษาพยาธิสภาพและการทำงานของระบบต่าง ๆ ของร่างกายด้วยสารเภสัชรังสี การศึกษาดังกล่าวได้จากภาพถ่ายอวัยวะที่มีการสะสมสารเภสัช เพื่อประกอบการวินิจฉัยโรคโดยผู้ป่วยได้รับรังสีน้อยที่สุด เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นี้สำนักงานมาตรฐานสากลจึงกำหนดมาตรฐานและเทคนิคต่าง ๆ เพื่อทดสอบและปรับ-ปรุงการทำงานของเครื่องมือให้ทำงานดีขึ้นและเต็มความสามารถของเครื่องมือ

อัตราการนำเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาใช้ทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์เพิ่มขึ้น 10% ต่อปี และ 82% ของเครื่องมือเหล่านี้ใช้ศึกษาได้ดีเฉพาะกับนิวไคลด์ รังสีเทคนีเชียม-99 เอ็ม เพื่อให้ เครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาทำงานได้ถูกต้องจะต้องมีการทดสอบคุณภาพของเครื่องมือ ซึ่งจำเป็นต้องใช้แฟนทอมหรือหุ่นจำลองบรรจุสารละลายนิวไคลด์รังสีเทคนีเชียม-99เอ็ม ทำหน้าที่เป็นต้นกำเนิดรังสีหรือแทนอวัยวะที่จะตรวจวัด ซึ่งจะกล่าวต่อไป

4.2 การควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์

แบ่งการควบคุมคุณภาพออกเป็น 8 ขั้นตอน คือ

ก. การเลือกและการรับมอบเครื่องมือ การเลือกเครื่องมือแต่ละแบบจากโรงงานผู้ผลิตเดียวกันหรือจากผู้ผลิตต่าง ๆ จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของเครื่องมือต่อขบวนการที่จะใช้วินิจฉัยโรค โดยตัดสินได้จากเทคนิคเฉพาะตัวของเครื่องมือ ประโยชน์ที่ได้รับ ความปลอดภัยจากการใช้เครื่องมือ การทำงานต้องคล้ายเครื่องมือชนิดเดียวกันกับเครื่องมือจากโรงงานอื่นๆ เพื่อให้เปรียบเทียบผลกันได้ ควรมีผู้เชี่ยวชาญหรือผู้แทนจากโรงงานผู้ผลิตที่มีความชำนาญทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์คอยให้คำปรึกษาต่าง ๆ การดูแลและรักษาเครื่องมือต้องทำได้ง่ายและสะดวกโดยเจ้าหน้าที่ประจำเครื่องมือ จะต้องมีอะไหล่สำรองไว้สำหรับการซ่อมแซม มีราคาพอเหมาะ มีคู่มือ อุปกรณ์การทดสอบเครื่องมือครบและมีการประกันเครื่องมือเรียบร้อยก่อนรับมอบเครื่อง

ข. การเลือกสถานที่และการติดตั้งเครื่องมือ สถานที่ติดตั้งเครื่องมือจะต้องคำนึงถึงที่ว่างรอบเครื่องมือสำหรับวางเครื่องมือ อุปกรณ์ ผู้ใช้เครื่องมือ ผู้ป่วย การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเครื่องมือซึ่งสามารถใช้เครื่องมือได้อย่างปลอดภัยและสะดวก กำลังไฟฟ้าที่ให้กับเครื่องมือต้องสม่ำเสมอ มีสภาพแวดล้อมรอบเครื่องมือที่เหมาะสมเช่น อุณหภูมิ ความชื้น ปราศจากฝุ่นละออง ควันไฟ ควันจากสารเคมี เป็นต้น

ค. การทดสอบเมื่อแรกรับเครื่องมือและการทดสอบเพื่อหาข้อมูลอ้างอิง เมื่อมีการรับและติดตั้งเครื่องมือจะต้องทดสอบการทำงานของเครื่องมือให้เรียบร้อยโดยมีผลการทดสอบถูกต้องดังกำหนดไว้ในคู่มือของเครื่อง โดยทดสอบทันทีหลังจากติดตั้งเครื่องมือเรียบร้อยแล้ว ช่วยให้สามารถค้นหาข้อบกพร่องหรือองค์ประกอบของเครื่องมือที่ชำรุด รอยตำหนิ ก่อนที่เวลาของการประกันจะหมดอายุลง ไม่ควรทดสอบเครื่องแบบประจำ (routine testing) จนกว่าการทดสอบการทำงานเมื่อแรกรับของเครื่องมือได้ผลดีที่สุด

เมื่อทดสอบการทำงานของเครื่องมือเมื่อแรกรับได้ถูกต้องแล้ว จะต้องทดสอบเพื่อหาข้อมูลอ้างอิงไว้ใช้เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องมือต่อไปภายหลัง การทดสอบเพื่อหาข้อมูลอ้างอิงจะต้องทดสอบใหม่ภายหลังจากเครื่องมือทำงานผิดพลาดไป ภายหลังการซ่อมและการเคลื่อนย้ายเครื่องมือ

ง. การทดสอบประจำ (routine testing) การทดสอบเครื่องมือควรทำประจำเป็นรายคาบอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มั่นใจว่าผลการทำงานของเครื่องมือดีที่สุดตลอดเวลาการใช้งาน เพื่อหาช่วงการลดการทำงานลงหรืออัตราการลดการทำงานลงของเครื่องมือ การทดสอบแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การทดสอบประจำวันหรือ การทดสอบเมื่อใช้เครื่องมือ และการทดสอบเป็นรายคาบเช่น ทุกสัปดาห์ ทุกเดือน ทุกครึ่งปี และทุกปี ความถี่ในการทดสอบขึ้นอยู่กับสภาพของหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์และสภาพของเครื่องมือ เป็นต้น

จ. การป้องกันเครื่องมือและการบำรุงรักษาเครื่องมือที่ถูกต้อง การบำรุงรักษาเครื่องมืออาจทำได้โดยผู้ดูแลเครื่องมือหรือตัวแทนจากโรงงานผู้ผลิต การบำรุงรักษาอย่างถูกต้องจะทำให้การทำงานของเครื่องมือดีที่สุดและยืดอายุการใช้งานได้มากขึ้น การบำรุงรักษาเครื่องมือเช่น การขจัดฝุ่นละอองและความสกปรกต่าง ๆ การเปลี่ยนส่วนประกอบของเครื่องมือเมื่อถึงกำหนดเวลา การสังเกตความผิดปกติของเครื่องมือ การระมัดระวังความปลอดภัยของผู้ป่วยและผู้ใช้เครื่องมือจากระบบการทำงานและกำลังไฟฟ้าจากเครื่องมือนี้ เป็นต้น

ฉ. การบันทึกข้อมูล การเก็บข้อมูลเป็นขบวนการสำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพของเครื่องมือทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ข้อมูลที่ได้จากการใช้งาน การควบคุมคุณภาพและการบำรุงรักษาเครื่องมือจะต้องเก็บรวบรวมไว้ในสมุดคู่มือเล่มเดียวกัน ภาคแรกของสมุดคู่มือควรเป็นวันที่ การใช้เครื่องมือในขบวนการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์และนิวไคลด์รังสีที่ใช้ประจำ ส่วนที่เหลือควรบันทึกผลการทดสอบเครื่องมือเมื่อแรกรับ การทดสอบหาข้อมูลอ้างอิงและการทดสอบประจำ การบำรุงรักษา รายละเอียดของข้อมูลที่ผิดปกติและรายละเอียดของการซ่อมแซมเครื่องมือ

การบันทึกข้อมูลต้องสมบูรณ์ กะทัดรัดและเข้าใจง่าย ควรบันทึกเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นและผลการทดสอบเท่านั้น ควรมีคอนโทรลชาร์ท (control chart) และกราฟเพื่ออธิบายเสถียรภาพและการทำงานของเครื่องมือ ที่ผ่านมาติดไว้ที่ผนังห้องในบริเวณใกล้เคียงเครื่องมือ ภาพถ่ายที่เก็บไว้ควรเรียงไว้ตามลำดับเวลาที่ทดลองซึ่งทำให้สามารถนำออกมาใช้ได้สะดวก

ช. การจัดระเบียบและตารางการควบคุมคุณภาพ เป็นการกำหนดตารางการทดสอบและการใช้เครื่องมือเช่น การทดสอบเมื่อแรกรับ การทดสอบหาข้อมูลอ้างอิง การทดสอบประจำและการคำนวณผลการทดสอบเป็นต้น

ควรให้ผู้ที่รู้รายละเอียดของการทดสอบเครื่องมือเป็นผู้รับผิดชอบในการกำหนดแผนการควบคุมคุณภาพทั้งหมดและให้คำแนะนำแก่เจ้าหน้าที่เกี่ยวกับการทดสอบ คำนวณผลและประเมินผลการทดสอบ และกำหนดความถี่ในการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้เครื่องมือหรือกลุ่มบุคคลที่ใช้เครื่องมือในภายหลังสามารถใช้เครื่องมือได้สะดวก สามารถรับผิดชอบต่อการทดสอบประจำวันและการทดสอบก่อนใช้เครื่องมือได้อย่างสม่ำเสมอ โดยผู้ใช้เครื่องมือไม่จำเป็นจะต้องกังวลถึงกฎเกณฑ์ในการควบคุมคุณภาพ

ซ. การสนับสนุนให้มีการควบคุมคุณภาพ เป็นการเลือกชนิดของการทดสอบและความถี่ในการทดสอบเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพเครื่องมือภายในหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ซึ่งกำหนดได้จากการทดสอบและผลการทดสอบที่ผ่านมา เนื่องจากรายละเอียดของระเบียบการและวิธีใช้งานของเครื่องมือมักไม่ได้บันทึกไว้เป็นหลักฐานแน่นอน ดังนั้นผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์จึงมีหน้าที่สนับสนุนการควบคุมคุณภาพโดยเป็นผู้อธิบายหรือให้รายละเอียดการทำงานและการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่ถูกต้อง และให้ผู้ใช้เครื่องมือปฏิบัติตามข้อกำหนดต่าง ๆ อย่างเคร่งครัด นอกจากนี้อาจสนับสนุนให้มีความตื่นตัวในการควบคุมคุณภาพโดยจัดมีการประชุมเสนอและแลกเปลี่ยนประสบการณ์ระหว่างผู้ชำนาญงานทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์และผู้มีอาชีพทางการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ

4.3 หุ่นจำลอง (phantom) สำหรับควบคุมคุณภาพของเครื่องมือสร้างภาพ

แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1. แฟนทอมชนิดบรรจุนิวไคลด์รังสีหรือเป็นต้นกำเนิดรังสี (Emission phantom) ได้แก่

ก. ผลัดแฟนทอม (Flood phantom)

ข. ธัยรอยด์แฟนทอม (Thyroid phantom) และวิลเลียมแฟนทอม (William phantom)

ค. สเตพเวดจ์แฟนทอม (step-wedge phantom)

2. แฟนทอมชนิดยอมให้รังสีแกมมาผ่านได้ (Transmission phantom) ซึ่งจะต้องทดสอบควบคู่กับผลัดแฟนทอมได้แก่

ก. ไฮน์-ดัลเลย์ แฟนทอม (Hine-Duley phantom)

ข. โฟร์-ควอเดรนท์ บาร์ แฟนทอม (Four-quadrant bar phantom)

ค. แฟนทอมชนิดช่องขนานมีระยะห่างระหว่างเส้นตะกั่วเท่ากัน (parallel-line equal-space phantom, PLES)

ง. ออธอโกนอล-โฮล เทสท์แพทเทอร์น (Orthogonal-hole test pattern, OHTP[6] หรือ orthogonal-hole transmission phantom[14])

จ. แฟนทอมชนิด BRH (BRH graded-spacing-hole phantom หรือ Bureau of Radiological Health phantom)

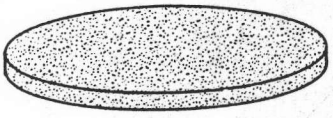
4.3.1 แฟนทอมชนิดบรรจุนิวไคลด์รังสีหรือเป็นต้นกำเนิดรังสี (Emission phantom)

ก. ผลัดแฟนทอม แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

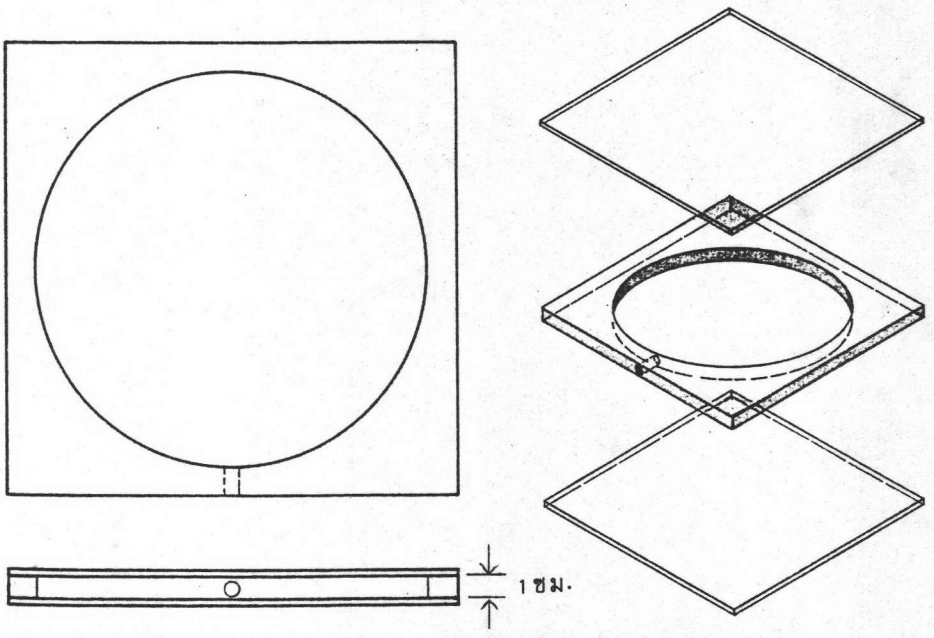
1. ต้นกำเนิดรังสีเป็นแผ่นโลหะโคบอลท์-57 ลักษณะกลม แฟนทอมชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30-50 ซม. มีลักษณะดังรูป 4.1

2. ผลัดแฟนทอมชนิดแผ่นเพอสเพคใสภายในเป็นช่องกลวงรูปทรงกระบอกสำหรับบรรจุนิวไคลด์รังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้น แฟนทอมชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30-50 ซม. มีลักษณะรูปร่างดังแสดงในรูป 4.2

การเลือกขนาดของแฟนทอมขึ้นอยู่กับขนาดของหัวนับวัดของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาแต่ละเครื่อง โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่าหัวนับวัดเล็กน้อย



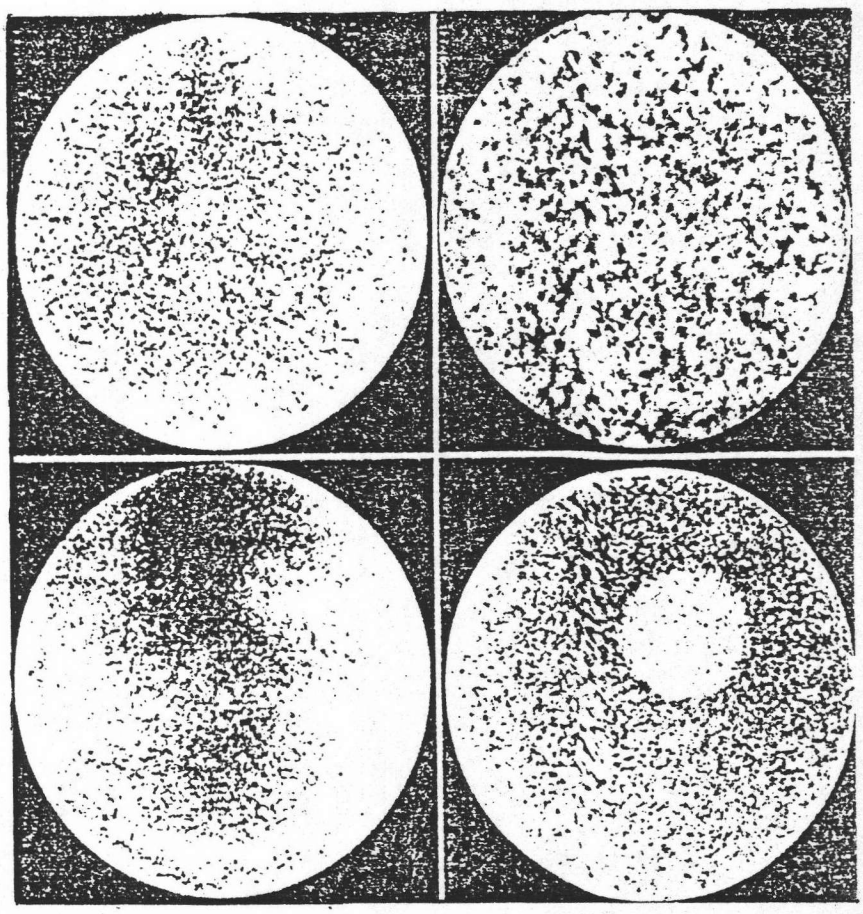
รูปที่ 4.1 แสดงภาพของผลัดแฟนทอมชนิดแผ่นโลหะโคบอลท์-57 ลักษณะกลมตัน มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30-50 ซม.



รูปที่ 4.2 ผลัดแฟนทอมชนิดแผ่นเพอสเพคใส ภายในมีช่องกลวงทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 30-50 ซม. มีความหนาของช่อง 1 ซม.

ฝลัดแฟนทอมชนิดแรกจะให้รังสีแกมมาออกมาอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาซึ่งสามารถนำไปถ่ายภาพได้เลย แต่เนื่องจากโคบอลท์-57 มีครึ่งชีวิตสั้น (267 วัน) จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในระยะยาวได้ สำหรับฝลัดแฟนทอมชนิดหลังภายในเป็นช่องกลวงเมื่อจะทำการทดสอบเครื่องมือต้องบรรจุสารละลายนิวไคลด์ รังสีที่มีครึ่งชีวิตสั้นให้เต็มโดยไม่มีฟองอากาศปนอยู่ นิวไคลด์รังสีจะต้องผสมกับน้ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน

รูป ก



รูป ข

รูป ค

รูป ง

รูปที่ 4.3 แสดงความผิดปกติของภาพที่เกิดจากการเตรียมฝลัดแฟนทอม

รูป ก. เกิดจากมีคราบสิ่งสกปรกที่ผิวด้านในของแฟนทอม

รูป ข. เมื่อมีอนุภาคอื่นปนอยู่ในสารละลายกัมมันตรังสี

รูป ค. เกิดจากการผสมของสารละลายกัมมันตรังสีไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

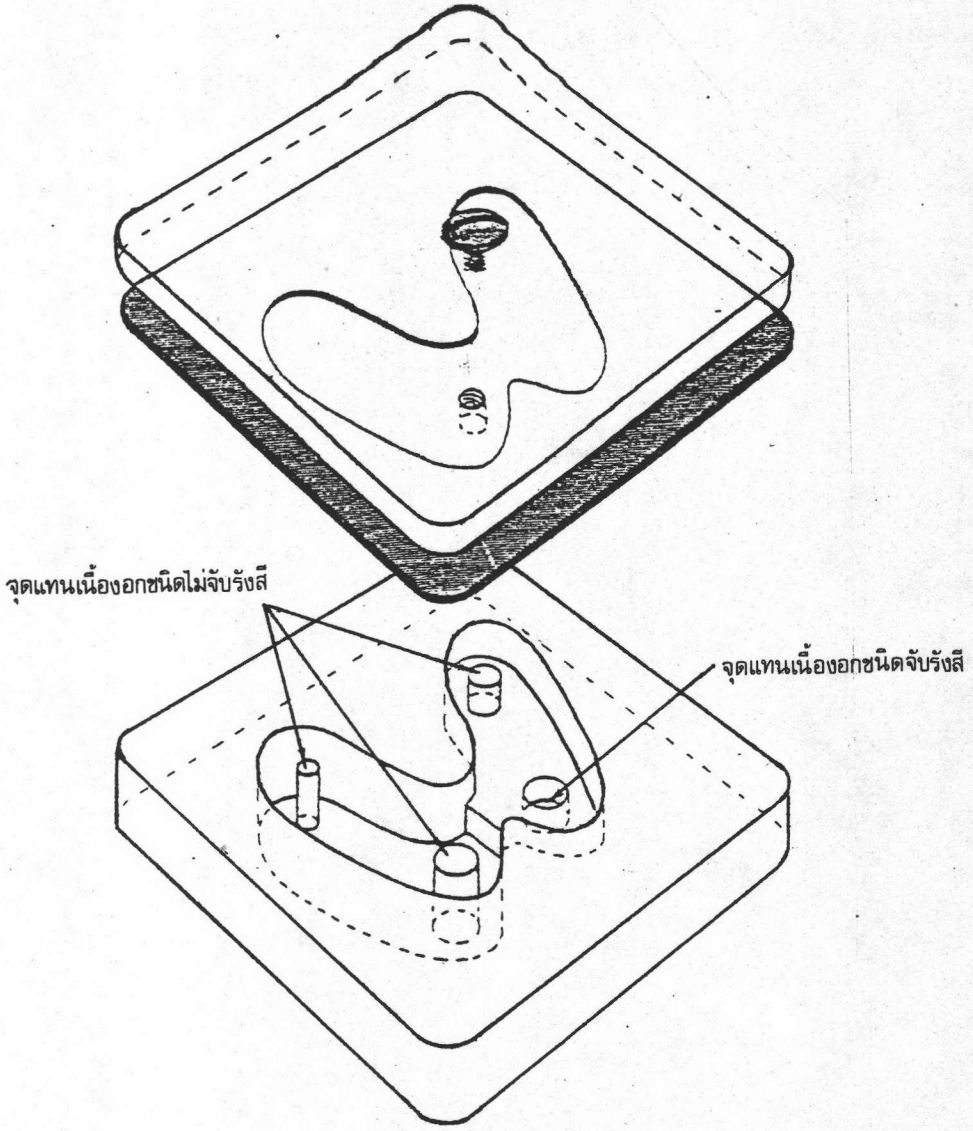
รูป ง. ความผิดปกติจากมีฟองอากาศในฝลัดแฟนทอม

การทดสอบความสม่ำเสมอ (uniformity) ใช้ฝลัดแฟนทอมบรรจุสารละลายเทคนีเชียม-99เอ็ม กัมมันตภาพประมาณ 3 มิลลิคูรี นิวไคลด์รังสีและน้ำควรผสมเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่ควรมีฟองอากาศอยู่ในแฟนทอม มิฉะนั้นภาพถ่ายของฝลัดแฟนทอมจะมีความเข้มไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจเข้าใจผิดได้ว่าเครื่องมือถ่ายภาพทำงานผิดปกติ เช่นจากรูปที่ 4.3 แสดงความผิดปกติของภาพเมื่อนิวไคลด์รังสีและน้ำผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีสิ่งผิดปกติอื่นเกิดขึ้นขณะทดลอง จะต้องทดสอบความสม่ำเสมอของภาพด้วยฝลัดแฟนทอมทุกวันก่อนใช้เครื่องมือศึกษาผู้ป่วย ความเข้มของกัมมันตรังสีที่ใช้ทดสอบควรมีค่าเท่ากันเพื่อช่วยให้สามารถตรวจสอบและเปรียบเทียบภาพถ่ายบนฟิล์มได้ เช่น การใช้สารกัมมันตรังสีมากเกินไปทำให้กำลังแยกของภาพลดลง ความเข้มของภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกัมมันภาพมากขึ้น โดยที่ตัวแปรอื่น ๆ ในการสร้างภาพมีค่าคงที่ อัตรานับวัดสูง ๆ จากฝลัดแฟนทอมเช่น 2×10^5 ครั้งต่อวินาทีเป็นต้น ทำให้อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในหลอดรังสีแคโธด (electron gun) เกิดติด ๆ กันเกินไป อิเล็กตรอนชนฉากเรืองแสงและให้แสงเรืองยังไม่สมบูรณ์ก็เกิดเรืองแสงเนื่องจากอิเล็กตรอนตัวใหม่เข้าชน เป็นผลให้ความเข้มบนฟิล์มมีค่าเท่ากันตลอดไม่สามารถอธิบายการทำงานหรือคุณภาพของระบบถ่ายภาพรังสีแกมมา โดยเฉพาะกำลังแยกของการขจัดได้ถูกต้อง

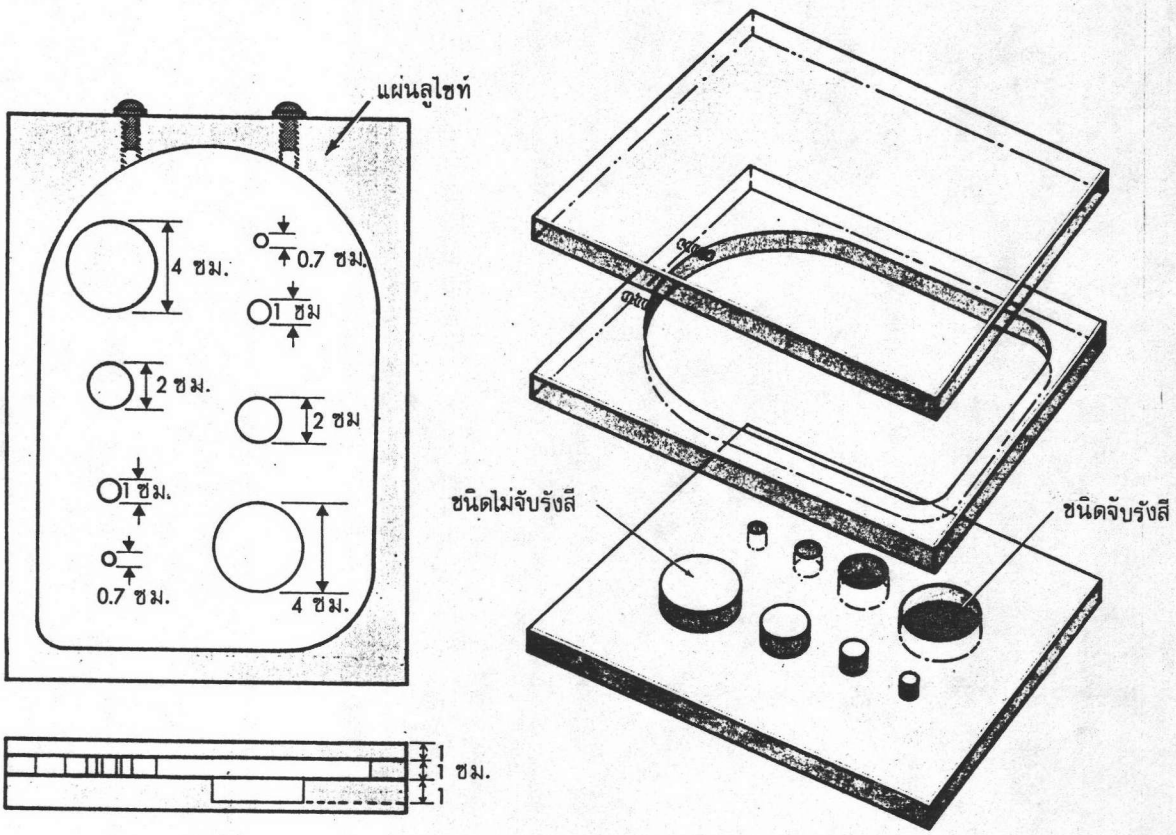
เมื่อนำภาพถ่ายจากฝลัดแฟนทอมแต่ละวันมาเปรียบเทียบกัน จะแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติของระบบถ่ายภาพได้ชัดเจน โดยสังเกตจากความเข้มและกำลังแยกของภาพ นอกจากนี้การตรวจสอบคุณภาพด้วยวิธีนี้สามารถตรวจสอบความไวและประสิทธิภาพในการนับวัดของระบบอีกด้วย ฝลัดแฟนทอมสามารถใช้ทดสอบการทำงานของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์และวงจรปริแอมป์ได้ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 4.4

ข. ธัยรอยด์แฟนทอมและวิลเลียมแฟนทอม

ธัยรอยด์แฟนทอมและวิลเลียมแฟนทอมเป็นหุ่นจำลองรูปอวัยวะซึ่งใช้บรรจุนิวไคลด์รังสีสำหรับการทดสอบการทำงานทั้งหมด (total performance) ของเครื่องสแกนเนอร์และเครื่องถ่ายภาพ ภายในธัยรอยด์แฟนทอมเป็นช่องกลวงมีความหนา 1 ซม. สำหรับใส่สารละลายกัมมันตรังสี หุ่นจำลองของเนื้องอกชนิดที่ไม่จับสารกัมมันตรังสี (rod) และชนิดจับสารกัมมันตรังสีมากกว่าปกติ (well) จำนวน 4 อัน ขนาดต่าง ๆ กันถูกบรรจุไว้ในหุ่นจำลองอวัยวะต่อมธัยรอยด์ ดังรูป 4.4 สำหรับวิลเลียมแฟนทอมภายในมีช่องกลวงหนา 1 ซม. เช่นกัน มีหุ่นจำลองของเนื้องอกทั้งชนิดไม่จับสารกัมมันตรังสี (rod) และจับสารกัมมันตรังสีมากกว่าปกติ (well) จำนวนชนิดละ 4 อัน มีขนาดต่าง ๆ กันดังรูป 4. 5



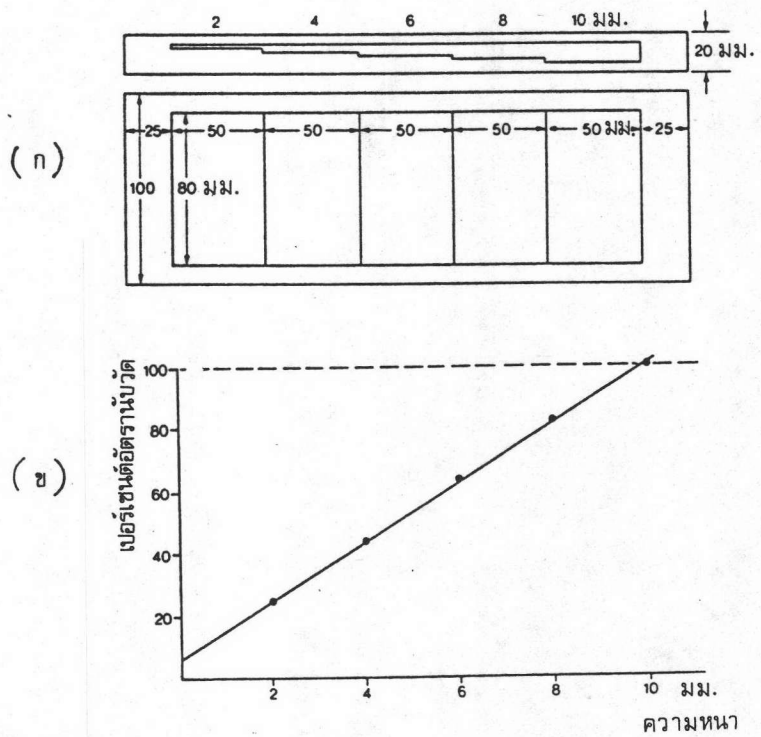
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะธัยรอยด์แฟนทอมประกอบด้วยจุดแทนเนื้องอกชนิดจับรังสีขนาด 1.2 ซม. และชนิดไม่จับรังสีขนาด 0.5, 0.9 และ 1.2 ซม.



รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดของวิลเลียมแฟนทอม ทำด้วยแผ่นลูไซท์หรือแผ่นพลาสติคใส มีจุดแทนเนื้องอกชนิดจับรังสี (Well) และชนิดไม่จับรังสี (Rod) อย่างละสี่จุด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.7, 1, 2 และ 4 ซม. ความหนามากสุดของช่องในแฟนทอม 2 ซม. แฟนทอมมีปริมาตรประมาณ 316 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ภาพถ่ายจากแฟนทอมทั้งสองชนิดซึ่งมีสารกัมมันตรังสีบรรจุอยู่ภายในจะแสดงบริเวณที่เป็นความผิดปกติของอวัยวะ แสดงรูปร่างลักษณะตำแหน่งของ rod และ well ที่มีขนาดต่างๆ ที่เครื่องถ่ายภาพสามารถมองเห็นได้และรายละเอียดของภาพ rod และ well จะมีความเข้มแตกต่างจากบริเวณรอบ ๆ การทดสอบเครื่องถ่ายภาพด้วยหุ่นจำลองทั้งสองทำให้สามารถสรุปการทำงานของเครื่องมือได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งจะกล่าวต่อไปในการทดสอบการทำงานของเครื่องมือ

ค. สเตพเวดจ์ แฟนทอม (step-wedge phantom) สเตพเวดจ์ แฟนทอม ทำจากเพอสเพคใส มีช่องกลวงอยู่ภายในแฟนทอมซึ่งมีความลึกแตกต่างกันตามลำดับคือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ซม. ดังรูปที่ 4.6 ก. เมื่อบรรจุสารละลายกัมมันตรังสีในแฟนทอม จะทำให้แต่ละบริเวณมีปริมาณกัมมันตภาพรังสี 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่ความลึก 1 ซม. แฟนทอมชนิดนี้ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของระบบสร้างภาพ (system linearity) โดยดูความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของสารกัมมันตรังสีในแฟนทอมแต่ละบริเวณกับเปอร์เซนต์ของอัตรานับวัด หรือเปอร์เซนต์ของความเข้มที่ปรากฏบนฟิล์ม หรือเปอร์เซนต์ความหนาแน่นของจุดบนกระดาษบันทึกภาพ แล้วนำความสัมพันธ์นี้มาเขียนกราฟซึ่งจะแสดงออกมาเป็นเส้นตรงกับรูป 4.6 ข



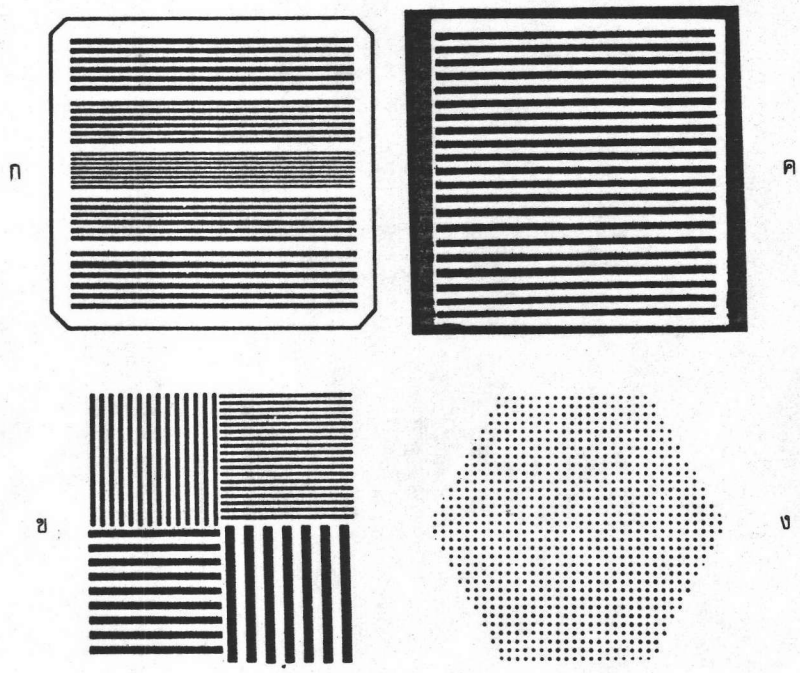
รูปที่ 4.6 (ก) แสดง step-wedge phantom ที่มีความลึกของช่องกลวงภายในแฟนทอมแตกต่างกันตามลำดับ
(ข) แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซนต์อัตรานับวัดกับความลึกของสารกัมมันตรังสีในแฟนทอม

4.3.2 แฟนทอมชนิดยอมให้รังสีแกมมาผ่าน (Transmission phantom) ทรานสมิสชันแฟนทอมเป็นเส้นตะกั่วหรือแผ่นตะกั่วขนาดต่าง ๆ กันวางเรียงขนานกันเป็นรูปร่างต่าง ๆ มีขนาดและระยะระหว่างเส้นตะกั่วคงที่ แผ่นตะกั่วดังกล่าวถูกเรียงบนแผ่นเพอสเพคใส ซึ่งมีความหนาพอที่จะรับน้ำหนักของแผ่นตะกั่วได้ดังรูปที่ 4.7 ก-ค หรือเป็นแผ่นตะกั่วเจาะช่องขนาดเท่ากันและห่างเท่ากันตลอดทั้งแผ่นตะกั่วดังรูปที่ 4.7 ง แฟนทอมเหล่านี้เมื่อนำไปถ่ายภาพจะต้องวางแฟนทอมชิดกับผิวคอลลิเมเตอร์ที่หงายหัวนับวัดขึ้นและนำผลัดแฟนทอมวางซ้อนข้างบนดังภาพ 4.8 และบันทึกภาพของรังสีแกมมาที่ทะลุผ่านช่องระหว่างเส้นตะกั่วหรือช่องของแฟนทอมเข้าสู่หัวนับวัด

ทรานสมิสชันแฟนทอมหลายชนิดถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งาน แต่มีเพียงบางชนิดเท่านั้นซึ่งนิยมนำมาใช้ตรวจสอบการทำงานของเครื่องถ่ายภาพอย่างกว้างขวาง แฟนทอมที่ดีจะต้องให้รายละเอียดของภาพที่แน่นอนและมีขนาดใหญ่กว่าหัวนับวัดเล็กน้อย การบิดเบือนของภาพถ่ายจากแฟนทอมเหล่านี้แสดงถึงความเสื่อมในการทำงานของหัวนับวัดหรือของระบบถ่ายภาพ

ในการตรวจสอบเครื่องถ่ายภาพ ถ้าแฟนทอมมีช่องว่างระหว่างเส้นตะกั่วแคบกว่าขนาดของกำลังแยกของเครื่องจะได้ภาพที่ขาดรายละเอียดของเส้นตะกั่ว ฉะนั้นควรเลือกทรานสมิสชันแฟนทอมที่มีช่องว่างระหว่างเส้นตะกั่วหรือระยะระหว่างช่องในแผ่นตะกั่วอย่างน้อยสุดเท่ากับกำลังแยกการขจัดของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา

แฟนทอมชนิดนี้นอกจากจะใช้วัดกำลังแยกแล้วยังใช้วัดความถูกต้องในแนวเส้น (linearity) ของเครื่องถ่ายภาพโดยดูจากความบิดเบือนของภาพถ่ายแนวเส้นตะกั่วหรือแนวจุดจากแฟนทอมนั้น ๆ



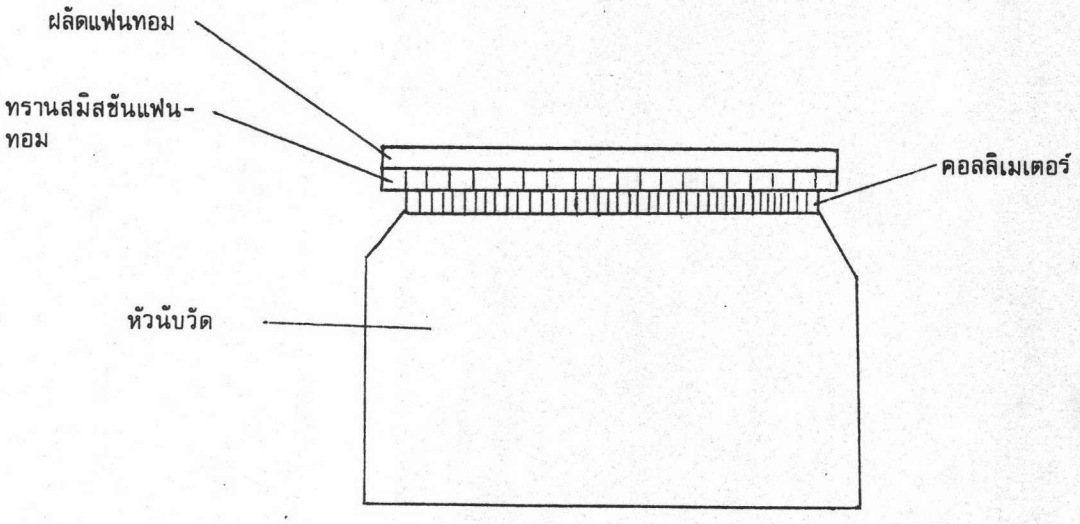
รูปที่ 4.7 แสดงรายละเอียดของทรานสมิสชันแฟนทอม ซึ่งประกอบด้วยแผ่นตะกั่วถูกเจาะเป็นช่องกลมและช่องเป็นเส้นตรงขนาดต่าง ๆ กัน

ก. ไฮน์-ดัลเลย์ แฟนทอม

ข. โฟร์-ควอเดรนท์ บาร์แฟนทอม

ค. แฟนทอมชนิดช่องขนานมีระยะระหว่างช่องเท่ากัน

ง. ออธอโกนอล-โฮล เทสท์ แพทเทอร์น



รูปที่ 4.8 แสดงการใช้งานของทรานสมิสชันแฟนทอมประกอบเข้ากับผลัดแฟนทอม และหัวนับวัด โดยหงายหัวนับวัดขึ้น

ก. ไฮน์-ดัลเลย์แฟนทอม (Hine-Duley Phantom) (รูปที่ 4.7 ก)

แฟนทอมชนิดนี้ประกอบด้วยชุดของเส้นตะกั่วหนา 0.318 ซม. หรือ 3.5 เท่าของ HVT*[39] จำนวนห้าชุดแต่ละชุดห่างกัน 1.27 ซม. ถูกหุ้มด้วยแผ่นลูไซท์ เส้นตะกั่วชุดกลางแปดเส้นมีความกว้างและระยะระหว่างเส้นตะกั่วเท่ากันคือ 0.397 ซม. สองข้างของชุดกลางในแฟนทอมเป็นชุดของเส้นตะกั่วจำนวนชุดละหกเส้น มีความกว้างและระยะระหว่างเส้นตะกั่ว 0.476 ซม. ชุดนอกสุดสองชุดประกอบด้วยเส้นตะกั่วชุดละหกเส้นมีความกว้างและระยะระหว่างเส้นตะกั่ว 0.635 ซม. เส้นตะกั่วที่มีความกว้างและระยะห่างแตกต่างกันของแฟนทอมชนิดนี้ทำให้สามารถเปรียบเทียบกำลังแยก (resolution) ความสม่ำเสมอของระบบ (uniformity) ความถูกต้องในแนวเส้นตรง (linearity) และการเสียรูปทรงของภาพจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา (distortion) ได้

แฟนทอมชนิดนี้เหมาะสำหรับเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาแบบใหม่ที่มีหลอดโฟโตมัลติ-พลายเออร์ขนาดเล็กและมีจำนวนหลอดตั้งแต่ 37 หลอดขึ้นไป ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของภาพขนาดเล็กได้ดีกว่าเครื่องถ่ายภาพแบบเก่าซึ่งมีหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ 19 หลอด เครื่องถ่ายภาพแบบเก่าไม่สามารถแสดงรายละเอียดของเส้นตะกั่วในแฟนทอมชนิดนี้ได้

ข. โฟร์-ควอเดรนท์ บาร์ แฟนทอม (Four-quadrant bar phantom) (รูปที่ 4.7 ข)

แฟนทอมชนิดนี้ แบ่งออกเป็นสี่ส่วนบรรจุเส้นตะกั่วสี่ชุดภายในแผ่นลูไซท์ แต่ละชุดทำมุม 90 องศา ซึ่งกันและกัน เส้นตะกั่วแต่ละชุดมีความกว้างและระยะระหว่างเส้นตะกั่วแตกต่างกัน ในชุดเดียวกันมีขนาดและระยะระหว่างเส้นตะกั่วเท่ากันคือ 0.3, 0.35, 0.4 และ 0.45 ซม. อยู่ในควอเดรนท์ 1,2,3 และ 4 ตามลำดับ แฟนทอมชนิดนี้ใช้สำหรับทดสอบการทำงานของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาแบบใหม่เท่านั้น ในการทดสอบกำลังแยกที่บริเวณต่าง ๆ ของหัวนับวัดจะต้องถ่ายภาพทุก ๆ ควอเดรนท์ของแฟนทอมให้ครบตลอดหัวนับวัด โดยหมุนแฟนทอมไปทางเดียวกันครั้งละ 90 องศา สำหรับความถูกต้องในแนวเส้น (linearity) และการ

---

*HVT = half value thickness ความหนาของแผ่นตะกั่วที่จะลดความเข้มของรังสีลงเหลือ 50%

เสียรูปไป (distortion) ของภาพไม่สามารถทดสอบได้ด้วยแฟนทอมชนิดนี้เพราะความยาวของเส้นตะกั่วไม่ลากผ่านผิวหน้าของหัวนับวัดโดยตลอด

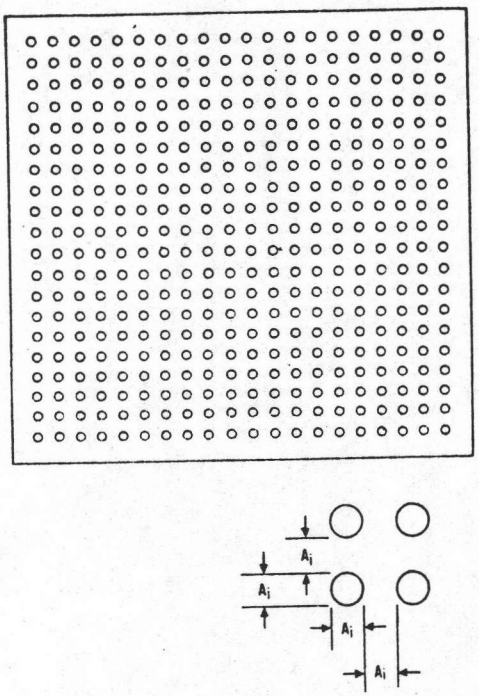
ค. แฟนทอมชนิดช่องขนานมีระยะห่างระหว่างเส้นตะกั่วเท่ากัน (Parallel-line equal-space Phantom) (รูปที่ 4.7 ค)

แฟนทอมชนิดนี้ประกอบด้วยเส้นตะกั่วที่มีขนาดและระยะระหว่างเส้นตะกั่วเท่ากันฝังอยู่ในแผ่นลูไซท์ แฟนทอมที่เลือกมาใช้ควรมีระยะระหว่างเส้นตะกั่วอย่างน้อยเท่ากับกำลังแยกของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาที่ต้องการทดสอบ สำหรับเครื่องถ่ายภาพที่มีหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ 37 หลอด และ 19 หลอด สามารถถ่ายภาพเส้นตะกั่วที่มีความกว้างเส้นตะกั่ว 0.476 ซม. และ 0.635 ซม. ตามลำดับ แฟนทอมชนิดนี้ใช้ทดสอบความสม่ำเสมอ (uniformity) กำลังแยกของการขจัด (spatial resolution) ความถูกต้องในแนวเส้น (linearity) และการเสียรูปทรงของภาพ (distortion) บนพื้นที่ทั้งหมดของหัวนับวัดทำได้โดยถ่ายภาพแฟนทอมชนิดนี้สองภาพแต่ละภาพมีแนวเส้นตะกั่วทำมุม 90 องศา กัน

ง. ออธอโกนอล-โฮล เทสท์ แพทเทอร์น (Orthogonal-hole test pattern)

แฟนทอมชนิดนี้ประกอบด้วยแผ่นตะกั่ว เจาะเป็นแถวของช่องกลมมีระยะระหว่างขอบช่องและเส้นผ่าศูนย์กลางช่องเท่ากัน ทุกช่องกระจายเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสตลอดทั้งแฟนทอม แต่ละช่องในแฟนทอมมีเส้นผ่าศูนย์กลางให้เลือกได้หลายขนาดตั้งแต่ 0.318, 0.476 และ 0.635 ซม. ในการเลือกแฟนทอมชนิดนี้ขนาดของช่องภายในแฟนทอมจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาดกำลังแยกของเครื่องถ่ายภาพที่จะวัด แฟนทอมชนิดนี้ใช้ทดสอบความสม่ำเสมอ (uniformity) กำลังแยก (spatial resolution) ความถูกต้องในแนวเส้น (linearity) และการเสียรูปทรงของภาพ (distortion) ของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมา แฟนทอมชนิดนี้มีลักษณะดังรูป 4.7 ง และ 4.9

รูปที่ 4.9 ภาพแสดง Orthogonal-hole test Pattern และความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางช่องและระยะระหว่างขอบช่อง



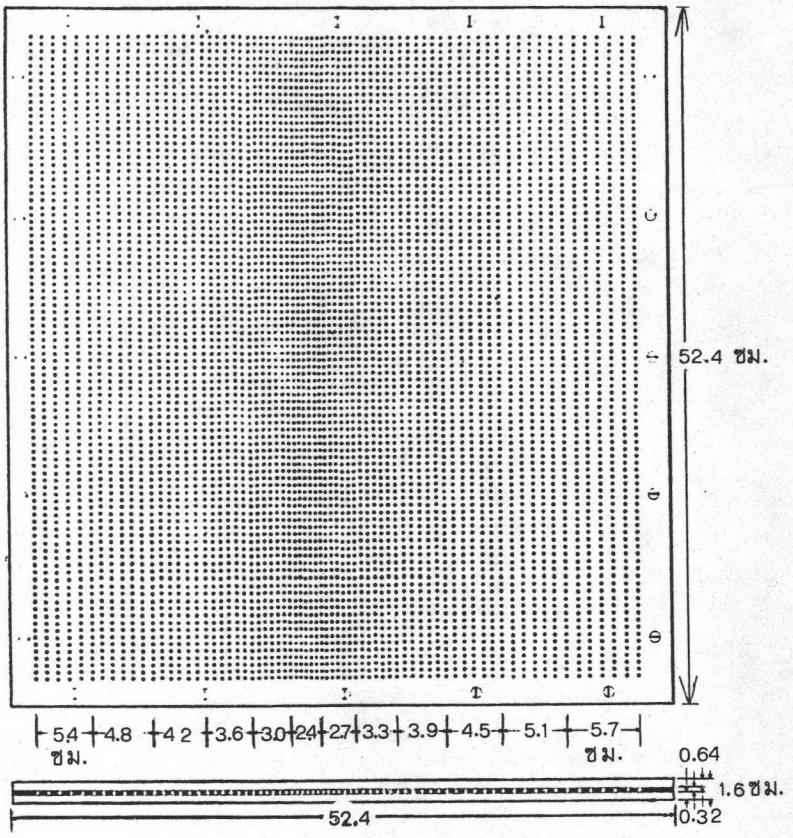
จ. <u>แฟนทอมชนิด BRH</u> (Bureau of Radiological Health phantom)

แฟนทอมชนิดนี้ทำจากแผ่นตะกั่วรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหนา 0.32 ซม. หรือ 3.5 เท่าของ HVT. ความยาวด้านละ 52.6 ซม. ถูกเจาะเป็นช่องกลมเล็ก ๆ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 ซม. เท่ากันทุกช่องตลอดทั้งแผ่นตะกั่ว แต่ละช่องห่างกัน 0.5 ซม. ตามแนวคอลัมน์แต่ละคอลัมน์มีระยะห่างกันไปดังรูป 4.10 แผ่นตะกั่วถูกประกบ ด้วยแผ่นลูไซท์สองแผ่นหนาแผ่นละ 0.64 ซม.

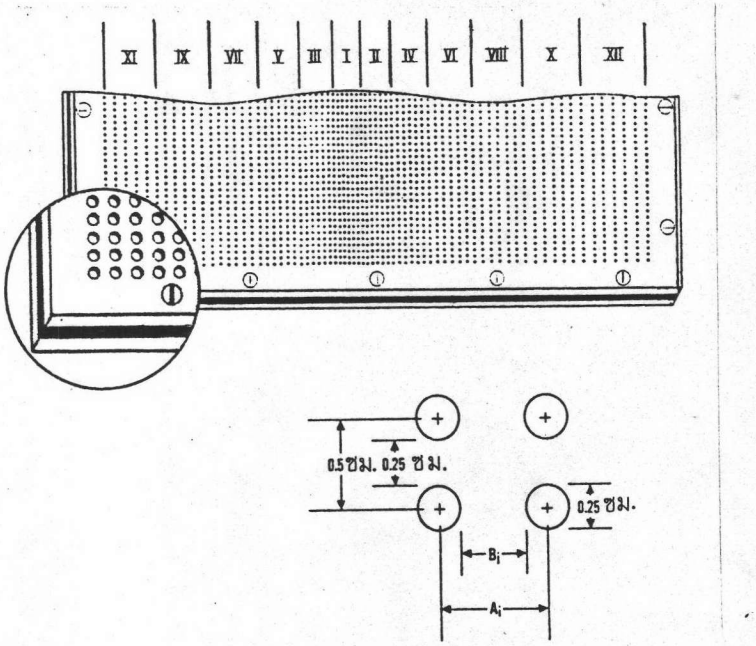
แฟนทอมชนิดนี้ใช้สำหรับวัดกำลังแยกของการขจัด (spatial resolution) และความถูกต้องของการขจัด (spatial linearity) โดยสังเกตแนวของจุดของภาพจากแฟนทอมว่าอยู่ในลักษณะเส้นตรงมากน้อยเพียงใดและระยะน้อยสุดที่สามารถมองเห็นรายละเอียดของภาพ กำลังแยกของการขจัดคำนวณได้จากระยะน้อยสุดของแนวเส้นตะกั่วในภาพที่เริ่มมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า [14] ดังสูตร

กำลังแยก = 1.75 × ระยะระหว่างแนวเส้นตะกั่วที่เริ่มมองเห็นรายละเอียด

(ก)



(ข)



กลุ่ม	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A_i (ซม.)	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95
B_i (ซม.)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70

รูปที่ 4.10 (ก) แสดงความกว้างแต่ละกลุ่มของช่องใน BRH แฟนทอม
(ข) ภาพแสดงขนาดและรายละเอียดของ BRH แฟนทอม ซึ่งมีระยะระหว่างช่องแตกต่างกันแบ่งเป็นสิบสองกลุ่ม (กลุ่มของคอลัมน์)

4.4 การควบคุมคุณภาพของภาพถ่ายด้วยแฟนทอม

ภาพถ่ายที่ได้จากฝลัดแฟนทอมควรมีความเข้มสม่ำเสมอตลอดทั้งภาพ บริเวณใดที่มีความเข้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงแสดงว่าการตอบสนองของหัวนับวัดต่อค่านับวัดไม่สม่ำเสมอกัน ในบางกรณีบริเวณขอบของหัวนับวัดจะมีความเข้มสูงกว่าบริเวณกึ่งกลาง ถ้าภาพบริเวณนี้มีความเข้มสูงไม่เกิน 10% ของพื้นที่ภาพทั้งหมดก็อาจจะไม่มีความสำคัญนักเพราะพื้นที่เหลืออยู่ 90% ที่มีความสม่ำเสมอกัน การตั้งตำแหน่งของโฟโตพีค (Photopeak) ผิดไปก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้รายละเอียดของภาพ ที่ได้จากแฟนทอมเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.11

วิธีควบคุมคุณภาพของเครื่องถ่ายภาพทำได้โดยเปรียบเทียบภาพถ่ายจากฝลัดแฟนทอมที่ได้ในแต่ละครั้งเมื่อเปลี่ยนค่ากึ่งกลางของระดับพลังงาน (center line) ไปรอบ ๆ โฟโตพีค ถ้าความเข้มของภาพไม่สม่ำเสมอต้องตรวจสอบหัวนับวัดควบคู่กับหลอดแคโธดและระบบถ่ายภาพ โดยถ่ายภาพของฝลัดแฟนทอมอีกครั้งหนึ่งให้ทิศทางของฝลัดแฟนทอมบิดไปจากเดิม 90 องศา ถ้าความเข้มของภาพเปลี่ยนแปลงไปแสดงว่าการผสมของสารละลายในฝลัดแฟนทอมไม่ทั่วถึงหรือมีการเปื้อนรังสีที่ฝลัดแฟนทอม อย่างไรก็ตามความเข้มของภาพที่ผิดปกติก็ยังคงมีอยู่ถ้าหากมีต้นกำเนิดรังสีอื่น ๆ อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องถ่ายภาพ การเตรียมสารกัมมันตรังสีด้วยวิธีการที่ไม่เหมาะสมก็อาจเป็นเหตุให้เกิดความผิดปกติที่ภาพได้ดังรูปที่ 4.3

ในการถ่ายภาพฝลัดแฟนทอมด้วยหัวนับวัดที่มีคอลลิเมเตอร์ติดอยู่ และได้ภาพที่มีความเข้มไม่สม่ำเสมออาจเกิดจากคอลลิเมเตอร์ได้โดยตรงเช่น การเปื้อนรังสีของคอลลิเมเตอร์ทำให้ความเข้มของรังสีสูงที่จุดนั้น และการบุบสลายของคอลลิเมเตอร์เป็นต้น วิธีตรวจสอบทำได้โดยถอดคอลลิเมเตอร์ออกและถ่ายภาพฝลัดแฟนทอมอีกครั้งหนึ่งแล้วนำภาพถ่ายทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน ถ้าร่องรอยของความผิดปกติต่าง ๆ หายไปแสดงว่ามีความผิดปกติขึ้นในคอลลิเมเตอร์ ถ้าภาพยังคงผิดปกติลักษณะเหมือนเดิมทั้งสองภาพแสดงว่าหัวนับวัดทำงานผิดปกติ

ในบางกรณีความผิดปกติที่หัวนับวัดอาจเกิดจากหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์บางหลอดทำงานไม่สมดุลกันหรือการลดการทำงานลงของวงจรปรีแอมป์ เนื่องจากการชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน สามารถสังเกตความผิดปกติได้จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายจากฝลัดแฟนทอมกับวันก่อน ๆ บริเวณใดที่หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์มีข้อบกพร่องจะมีความเข้มของภาพมากกว่าหรือต่ำกว่าความเข้มบริเวณรอบ ๆ อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 14.12

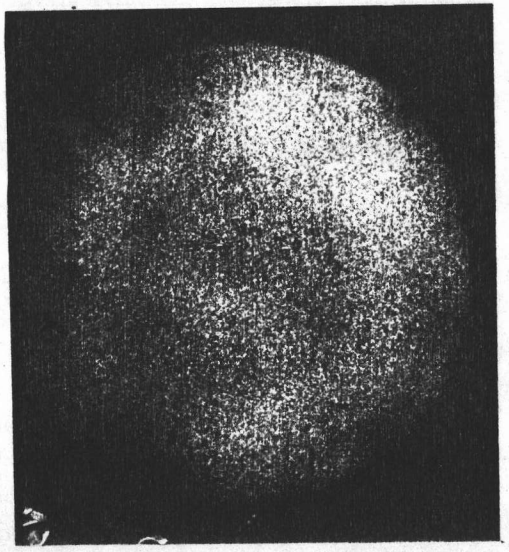
รูปที่ 4.11 แสดงความสม่ำเสมอของภาพจากฝลัดแฟนทอมเมื่อ

(ก) เมื่อกึ่งกลางหน้าต่างต่ำกว่าโฟโตพีค

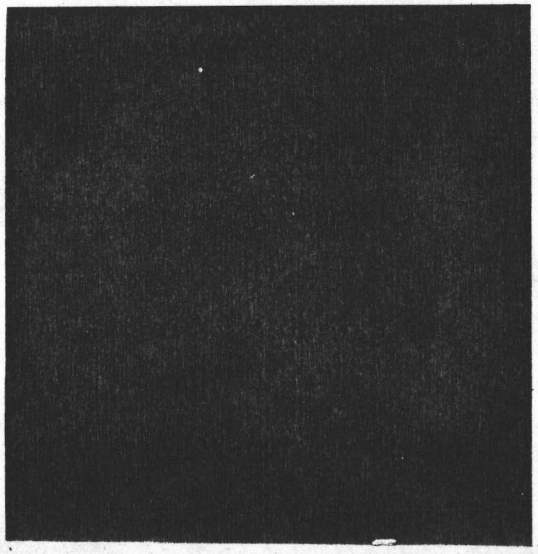
(ข) เมื่อกึ่งกลางหน้าต่างตรงกับโฟโตพีค

(ค) เมื่อกึ่งกลางหน้าต่างสูงกว่าโฟโตพีค

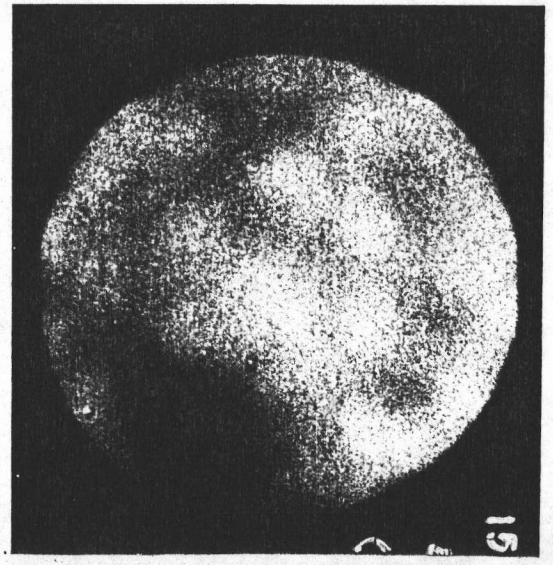
ก

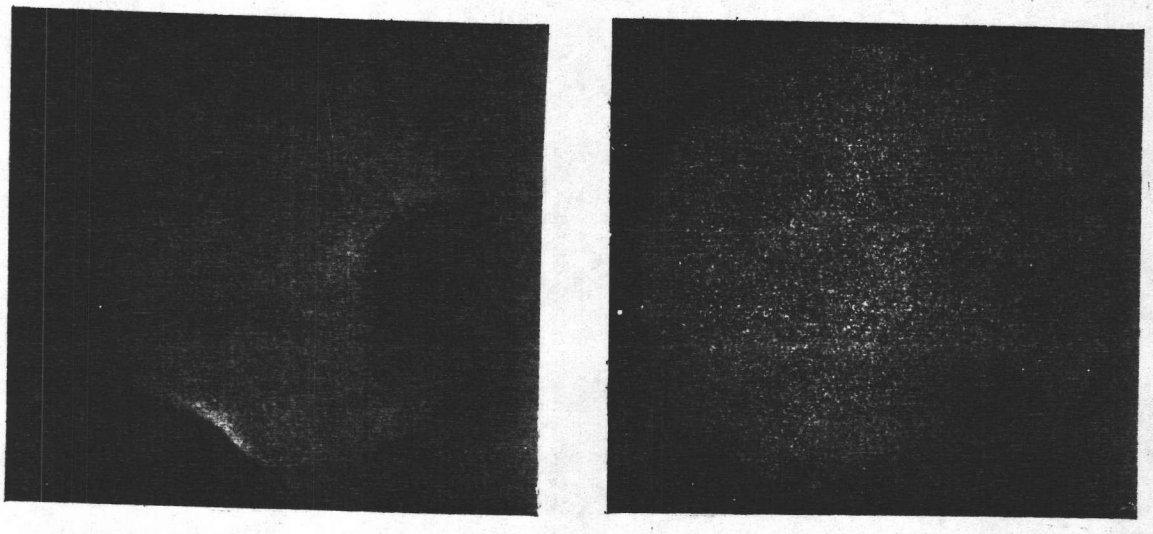


ข



ค





ก.　　ข.

รูปที่ 4.12 แสดงความผิดปกติของภาพจากเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาเนื่องจากการทำงานของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์

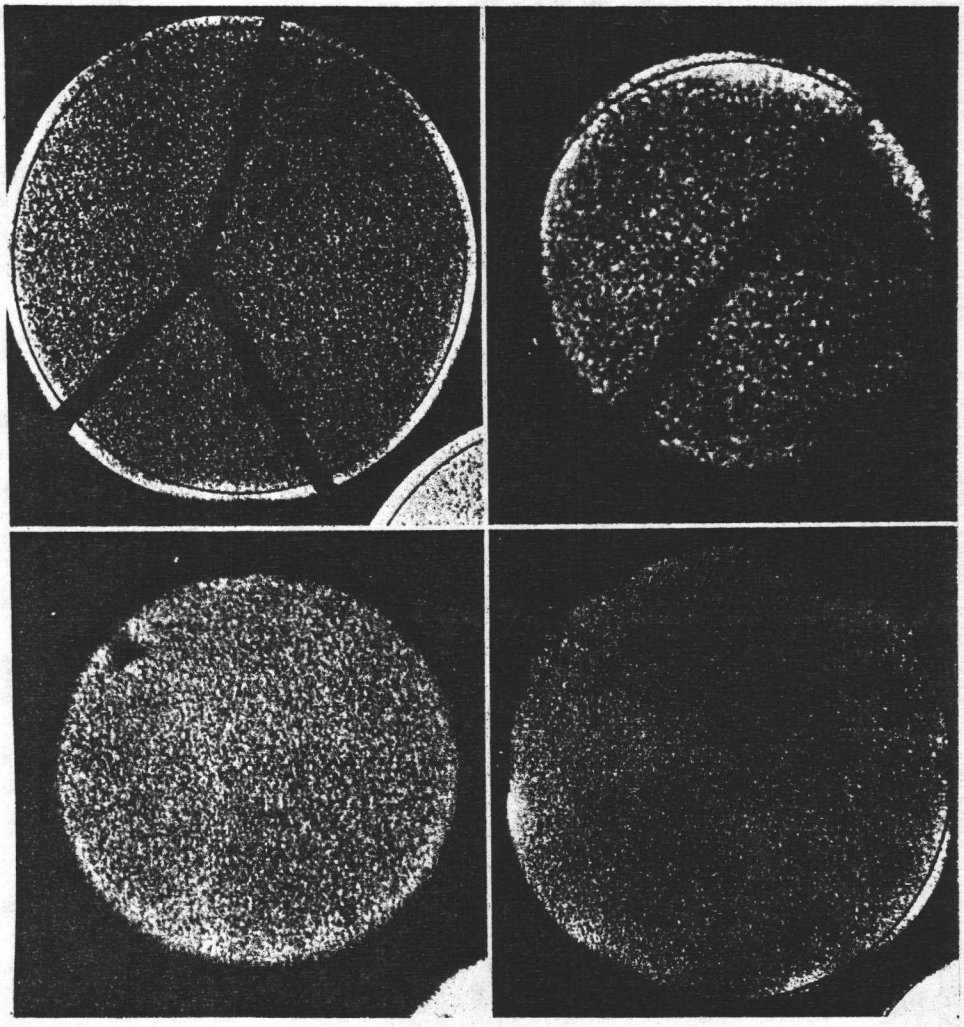
ก. หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ทางขวามือไม่ทำงาน

ข. หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์มุมล่างขวาลดการทำงานลง

การทำงานของหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ที่ไม่สมดุลกันจะทำให้ภาพที่เกิดขึ้นในบริเวณของหลอดนั้น ๆ มีความเข้มของภาพลดลง (cold area) สาเหตุดังกล่าวอาจเกิดจากการถ่ายทอดปริมาณของแสงระหว่างผลึกนับวัดและหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ไม่สมบูรณ์ หรือความชื้นจากภายนอกเข้าไปในผลึกทำให้คุณสมบัติการโปร่งแสงของผลึกเสียไป นอกจากนี้รอยขีดข่วนหรือรอยร้าวของผลึกจะทำให้ภาพที่ได้มีความผิดปกติอย่างถาวร รอยร้าวหรือร่องรอยที่เกิดขึ้นบนผลึกเกิดจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว มีแรงกระแทกที่ผลึก ดังรูปที่ 4.13 แสดงความผิดปกติของภาพที่มีสาเหตุจากความผิดปกติที่ผลึกนับวัด

ความผิดปกติของภาพอาจเกิดขึ้นจากจอภาพของหลอดแคโธดได้เพราะมีเศษผงหรือฝุ่นเกาะที่หลอดจอภาพ บนเลนซ์ รอยขีดข่วนหรือรอยร้าวบนจอภาพหรือจุดเรืองแสงถูกทำลาย ฟิล์มบันทึกภาพหมดอายุหรือมีเศษฝุ่นผงเกาะอยู่ภายในกล้องโพลารอยด์ อาจแก้ไขได้โดยการทำความสะอาดเครื่องถ่ายภาพและเปลี่ยนฟิล์มใหม่ ถ้าภาพที่ปรากฏยังคงมีความเข้มไม่สม่ำเสมออยู่แสดงว่าจอภาพหลอดแคโธดหรือเครื่องออสซิลโลสโคปทำงานผิดพลาด ควรแจ้งให้หน่วยบริการซ่อมแซมมาตรวจแก้ต่อไป

เมื่อการทดสอบคุณภาพแต่ละขั้นตอนดังกล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นที่ยอมรับ จึงสามารถใช้เครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาถ่ายภาพผู้ป่วยเพื่อการวินิจฉัยโรคได้ ถ้าการทำงานของเครื่องถ่ายภาพยังผิดพลาดอยู่จะต้องรีบดำเนินการซ่อมแซมแก้ไขให้ถูกต้องก่อนจึงจะใช้ถ่ายภาพผู้ป่วยต่อไป นอกจากนี้เครื่องมือ ที่ผ่านการตรวจสอบก่อนการใช้งานประจำก็ไม่ได้หมายความว่าจะทำงานได้ดีตลอดทั้งวัน ควรมีผู้เชี่ยวชาญระบบของเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาคอยดูแลและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของเครื่องถ่ายภาพ และรับผิดชอบขบวนการสร้างภาพตลอดเวลาที่เครื่องมือถูกใช้งานอยู่



รูปที่ 4.13 แสดงภาพของความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากผลึกนับวัด

ก. รอยร้าวที่ผลึกนับวัดเนื่องจากผลึกถูกกระแทก

ข. รอยร้าวของผลึกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรอบผลึกนับวัดอย่างรวดเร็ว

ค. รอยร้าวเป็นรูปจุดบนผลึกเนื่องจากแรงอัดกันระหว่างคอลลิเมเตอร์และผลึกนับวัด

ง. ความไม่สม่ำเสมอเกิดจากผลึกดูดความชื้นซึ่งรั่วผ่านเข้าภาชนะห่อหุ้มผลึกนับวัด