บทที่ 12
ลักษณะสมบัติในการทำงานและการควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์สร้างภาพ

อุปกรณ์สร้างภาพ (ด้านการแพทย์) มีพารามิเตอร์จำนวนมากที่มีบทบาทสำคัญในการจำแนกแยกแยะการกระจายค่าของสารรังสี ในจำนวนดังกล่าวมี 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ สเปเชียลเรโซลูชัน (spatial resolution) และความไว ซึ่งมีความสำคัญต่ออุปกรณ์ทั้งสองชนิดคือ เครื่องสแกนแบบเรคทิลิเนียร์ และเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องซินทิลเลชันคาเมรายังมีลักษณะสมบัติในการควบคุมเครื่องอื่น ๆ อีก 2 ค่า ได้แก่ ยูนิเฟอร์มิตี และ high count rate performance ซึ่งจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการควบคุมคุณภาพเครื่องซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในงานประจำ

ค่าพารามิเตอร์แบบปริมาณที่ใช้ในการวัดสเปเชียลเรโซลูชัน

เรโซลูชันถูกนิยามเป็น ความสามารถของเครื่องสแกนในการผลิตซ้ำรายละเอียดของการกระจายค่าของนิวไคลด์รังสี อุปกรณ์สร้างภาพใด ๆ ที่สามารถผลิตซ้ำได้ละเอียดกว่าแสดงว่าอุปกรณ์นั้น ๆ มีเรโซลูชันดีกว่า ปัญหาคือเรโซลูชันจะถูกวัดแบบปริมาณได้อย่างไร? ในการวัดเรโซลูชันของอุปกรณ์สร้างภาพนั้นใช้ 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ความกว้างที่กึ่งความสูง (full width at half maximum) หรือ FWHM และฟังก์ชันมอดดูเลชันทรานส์เฟอร์ (modulation transfer function) หรือ MTF บางกรณีมีการใช้ "บาร์แฟนธอม" (bar phantoms) เพื่อวัดเรโซลูชัน แบบกึ่งปริมาณรายละเอียดจะกล่าวภายใต้หัวข้อการควบคุมคุณภาพ

ความกว้างที่กึ่งความสูง (FWHM)

Full Width at Half Maximum (FWHM)

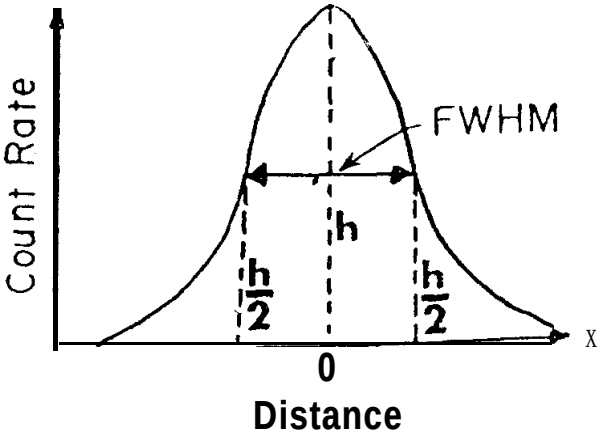
ถ้าใช้เครื่องสแกนทำการสแกนต้นกำเนิดรังสีแบบจุดเดี่ยว (point source) จะได้เส้นกราฟเป็นรูประฆังดังแสดงในรูป 12 –1 ถ้าพล็อตค่าความเข้มตามแนวนอนผ่านศูนย์กลางภาพของต้นกำเนิดรังสีแบบจุดซึ่งได้จากเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา ผลคือได้กราฟทำนองเดียวกับที่กล่าวแล้วข้างต้น เส้นกราฟนี้เป็นที่ทราบกันดีว่าฟังก์ชันพอยน์สเปรด (point spread) ของเครื่องสแกน ความกว้างที่กึ่งความสูง (FWHM) ของกราฟดังกล่าวสามารถใช้เป็นค่าวัดเรโซลูชันแบบปริมาณ ยิ่ง FWHM ของเครื่องสแกนทำได้ง่าย แต่ถ้าเป็นเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา จะต้องต่อกับคอมพิวเตอร์

FWHM เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของเรโซลูชัน กรณีแปรค่าความเข้มของ object (มักเรียกทับศัพท์ "ออบเจ็คคอนทรัสต์" (object contrast) สาเหตุดังกล่าวส่งผลให้มีการออกแบบอุปกรณ์สร้างภาพที่มีเรโซลูชันเท่ากับ 2 เครื่อง ตามคำนิยามข้างต้น ทั้งที่ในการปฏิบัติเครื่องหนึ่งจะทำงานดีกว่าอีกเครื่องหนึ่ง

ฟังก์ชันมอดูเลชันทรานส์เฟอร์ (MTF)

MTF เป็นค่าที่บ่งลักษณะสมบัติของเรโซลูชัน ในอุปกรณ์สร้างภาพ โดยถืออุปกรณ์สร้างภาพมีการตอบสนองแบบเส้นตรงแม้ว่าข้อกำหนดประการหลังจะไม่ถือเป็นหลักปฏิบัติอย่างเคร่งครัดสำหรับอุปกรณ์สร้างภาพ ฟังก์ชันมอดูเลชันทรานสเฟอร์ ยังคงใช้ประโยชน์ได้ดีในการประเมินผลการทำงานของมัน

การที่จะเข้าใจพารามิเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์จำต้องอาศัยการวิเคราะห์แบบฟูเรียร์ (Fourier) อย่างไรก็ตาม ทำความเข้าใจกับแนวคิดดังกล่าวได้โดยเปรียบเทียบกับเสียงใด ๆ ก็ตาม เสียงระฆัง "ดิง –ดอง" หรือเสียงไพเราะของนักร้อง ต่างประกอบขึ้นจากคลื่นเสียงจำนวนมากซึ่งมีความถี่ต่าง ๆ กัน สมมุติมีเสียงหนึ่งซึ่งทราบความถี่ในองค์ประกอบต่าง ๆ และทราบความแรง (อำพน หรือแอมปลิจูดนั่นเอง เราสามารถสร้างเสียงดังกล่าวได้ใหม่ (ในห้องปฏิบัติการ) โดยการทำการซ้อนความถี่อย่างเหมาะสม ในทำนองเดียวกันวัตถุต่าง ๆ ที่กระจัดกระจายอยู่ในที่ว่างใด ๆ ก็สามารถถูกแบ่งให้เป็นความถี่สเปเชียลค่าต่าง ๆ จากนั้นทำการสร้างภาพการกระจายของวัตถุ มีลักษณะเดียวกับต้นแบบเดิมได้โดยซ้อนความถี่สเปเชียลต่าง ๆ

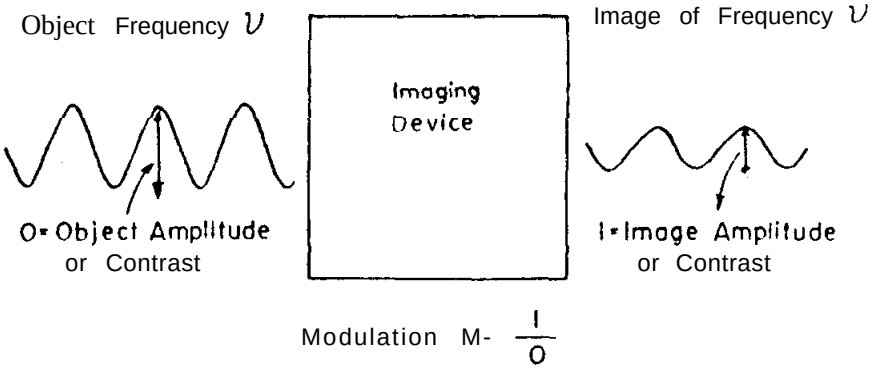


รูป 12-1 แสดงผลการตอบสนองของเครื่องสแกนเนอร์ต่อต้นกำเนิดกัมมันตภาพรังสีแบบจุดต้นกำเนิด วาง ณ จุด 0 เมื่อเคลื่อนสแกนเนอร์ออกจากต้นกำเนิดไปในทิศทางทั้งสองด้านจะทำให้สแกนเนอร์มีการตอบสนองลดลง เมื่อสแกนเนอร์ลดการตอบสนองอย่างรวดเร็วจะแสดงถึงเรโซลูชันของสแกนเนอร์เอง ยิ่งการลดค่าเป็นไปอย่างรวดเร็ว จะยิ่งได้กราฟแคบมากขึ้น ซึ่งหมายถึงสแกนเนอร์มีเรโซลูชันดีขึ้น ความกว้างที่ครึ่งความสูงของพีค (FWHM) เป็นพารามิเตอร์แบบควอนติเททีฟซึ่งใช้วัดเรโซลูชันของอุปกรณ์สร้างภาพ

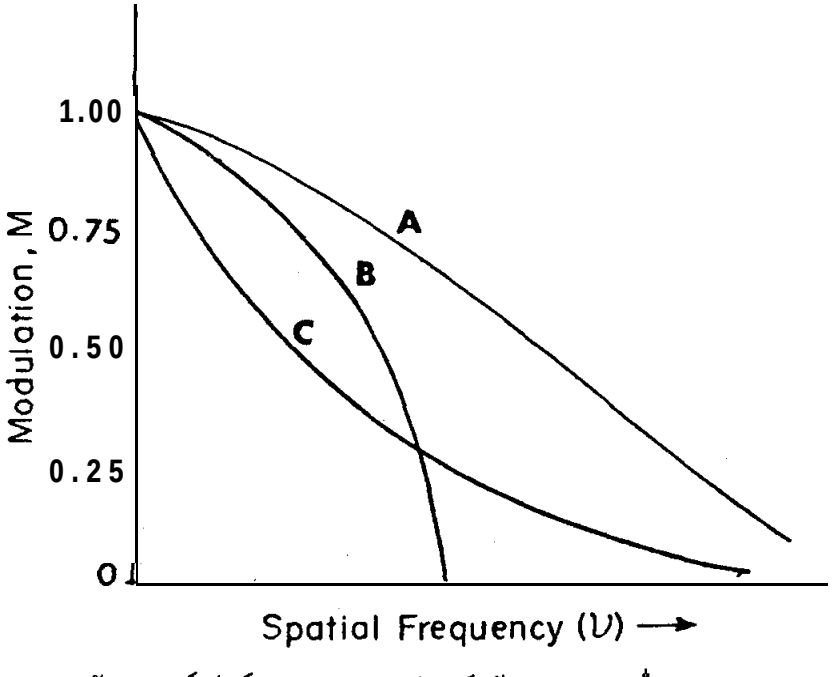
ปัญหาคือ การแยกลักษณะกระจัดกระจายในที่ว่างให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบความถี่สเปเชียลนั้นมีส่วนช่วยในการะเมิน (การทำงาน) ของอุปกรณ์ถ่ายภาพอย่างไร ถ้าเป็นตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นมิได้ช่วยอะไรเลย แต่ถ้าเราวัด "การเสื่อม" (degradation) ที่อุปกรณ์ถ่ายภาพผลิตขึ้นมาโดยให้อยู่ในฟังก์ชันของความถี่สเปเชียลต่าง ๆ ฟังก์ชันลัพธ์จะแจงถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นในการจัดปรับระบบสร้างภาพอย่างสมบูรณ์ ให้อุปกรณ์สร้างภาพใด ๆ ผลิต "การเสื่อม" M ณ ความถี่สเปเชียล ν ถูกวัดค่าเป็นอัตราส่วนของความคมชัด

(contrast) (แอมปลิจูดของคลื่น) ในความถี่ภาพ (image frequency) ต่อความคมชัดในความถี่วัตถุ (object frequency) ตามรูป 12 -2

MTF ของอุปกรณ์สร้างภาพผลิตจากการวัดค่าของ M ในฟังก์ชัน ν ถ้า M มีค่าเป็น 1 ณ ความถี่สเปเชียลค่าหนึ่ง ๆ แสดงว่าไม่เกิดการเสื่อมในความคมชัด ณ ความถี่ค่าดังกล่าว ถ้า M มีค่าเป็นศูนย์ แสดงว่าอุปกรณ์สร้างภาพนั้นไม่สามารถผลิตความถี่สเปเชียลค่าเดิมได้อีกเลย ดังนั้น ค่าศูนย์หมายถึง การเสื่อม สูงสุดนั้นเอง



รูป 12-2 ฟังก์ชันมอดูเลชันทรานส์เฟอร์ (MTF) ถ้าวัตถุมีความถี่สเปเชียล ν ถูกถ่ายภาพอาจทำให้อำพนของมันแปรไปได้ อัตราส่วนของอำพนในภาพซึ่งมีความถี่สเปเชียลค่าหนึ่งต่อค่าในวัตถุ เรียกเป็นมอดูเลชัน M การวัดค่า M ในฟังก์ชันของ ν คือฟังก์ชันมอดูเลชันทรานส์เฟอร์ของอุปกรณ์สร้างภาพ



รูป 12-3 ฟังก์ชันมอดูเลชันทรานส์เฟอร์ (MTF) ของอุปกรณ์สร้างภาพ 3 เครื่อง มอดูเลชัน M ของอุปกรณ์สร้างภาพ A มีค่าสูงกว่าของ B และ C ทุกค่าความถี่สเปเชียล ดังนั้น เครื่อง A จึงมีเรโซลูชันดีกว่า B และ C ส่วนการตัดสินใจเลือกเครื่อง B หรือ C นั้นค่อนข้างยาก เนื่องจากกรณีความถี่สเปเชียลมีค่าน้อยจะเห็นว่าเครื่อง B เหนือกว่าเครื่อง C แต่ถ้าความถี่สเปเชียลค่าสูง เครื่อง C เหนือกว่าเครื่อง B

ค่า M ในช่วง 1 และ 0 หมายถึง ขอบเขตการเพิ่มค่าของการเสื่อม ณ ความถี่ที่กำหนด เครื่องสแกนอุดมคติ (ซึ่งผลิตภาพวัตถุได้คมชัดดีมาก) จะมีค่า M = 1 ไม่ว่าความถี่สเปเชียลจะมีค่าเท่าใดก็ตาม

การใช้ MTF เพื่อเปรียบเทียบเรโซลูชันของอุปกรณ์สร้างภาพสองเครื่องสามารถทำได้ง่ายโดยการทดลองในรูป 12 –3 ซึ่งแสดงว่า MTF ของอุปกรณ์สร้างภาพ A,B และ C ตามลำดับ กรณีนี้ MTF ของอุปกรณ์สร้างภาพ A มีค่าสูงกว่าค่า MTF ของเครื่อง B และ C สำหรับทุก ๆ ค่าความถี่ สเปเชียล ดังนั้น อุปกรณ์สร้างภาพ A มีเรโซลูชันดีที่สุดในอุปกรณ์ทั้ง 3 เครื่อง ส่วนการตัดสินระหว่าง B และ C นั้นยาก ที่ความถี่สเปเชียลต่ำ เครื่อง B ดีกว่าเครื่อง C ขณะที่ความถี่สเปเชียลที่ค่าสูง ๆ เครื่อง C ดีกว่าเครื่อง B การเลือกใช้อุปกรณ์สร้างภาพที่เหมาะสมในกรณีนี้จะขึ้นกับชนิดของวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ ถ้าวัตถุมีความถี่สูงอย่างเด่นชัดก็สมควรเลือกใช้อุปกรณ์ C แต่ถ้าวัตถุมีความถี่ต่ำก็สมควรเลือกเครื่อง B ค่า MTF ของอุปกรณ์สร้างภาพนั้นวัดโดยตรงได้ยาก โดยทั่วไปจะคำนวณจากฟังก์ชัน "ไลน์สเปรด" (line-spread function) ของเครื่องสแกน (จะกล่าวถึงต่อไปจากหัวข้อนี้) ซึ่งวัดได้ง่ายกว่า

พารามิเตอร์เชิงปริมาณสำหรับการวัดความไว

นอกจากเรโซลูชันแล้วพารามิเตอร์สำคัญของอุปกรณ์สร้างภาพ คือ ความไว ความไวถูกนิยามเป็น ความสามารถของอุปกรณ์สร้างภาพในการใช้ทุก ๆ โฟตอน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในหน่วยเวลาที่กำหนด ซึ่งโฟตอนดังกล่าวได้จากวัตถุนั่นเอง

มีสามพารามิเตอร์ที่ใช้วัดความไวของอุปกรณ์สร้างภาพ ได้แก่ ความไวจุด (point sensitivity) ความไวเส้น (line sensitivity) และความไวระนาบ (plane sensitivity) แต่ละพารามิเตอร์ทั้งข้อได้เปรียบเสียเปรียบในการเปรียบเทียบกัน

ความไวจุด S_p

พารามิเตอร์นี้ถูกนิยามเป็นส่วนของรังสีแกมมาที่ถูกนับวัดต่อหน่วยเวลา เมื่อใช้ต้นกำเนิดรังสีแบบจุดเรดิลิเนียร์เครื่องสแกน จะมีค่า S_p แปรจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่น ๆ ที่อยู่ในสนามการมองเห็นของคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัส มักนำเสนอการแปรค่าดังกล่าวในพจน์ของเส้นกราฟ "ไอโซเรสปอนส์" (isoresponse) เส้นกราฟนี้จะเชื่อมจุดทุกจุดในสนามการมองเห็นของคอลลิเมเตอร์ ซึ่งมีความไวจุดเป็นค่าเดียวกันสำหรับคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัส S_p มีค่าสูงสุด ณ ตำแหน่งโฟกัส ถ้าเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา S_p จะมีค่าคงที่มากกว่าหรือน้อยกว่าในสนามการมองเห็นของ คอลลิเมเตอร์

ความไวเส้น S_L

นิยามให้พารามิเตอร์ คือ ส่วนของรังสีแกมมาที่ถูกนับวัดต่อหน่วยเวลา ต่อหน่อยความยาว โดยใช้ต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นซึ่งยาวมากแต่มีกัมมันตภาพรังสีสม่ำเสมอตลอดความยาวค่านับวัดตามแนวยาวของต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นที่ได้จากอุปกรณ์สร้างภาพ ซึ่งอยู่ในแนวตั้งฉากกับต้นกำเนิดรังสี เรียกเป็นฟังก์ชันไลน์สเปรด (line-spread function) หรือ LSF ดังแสดงในรูป 12 –4 LSF(x) นั้นเดิมถูกใช้ในการคำนวณค่า MTF ของ

เครื่องสแกนดังนี้

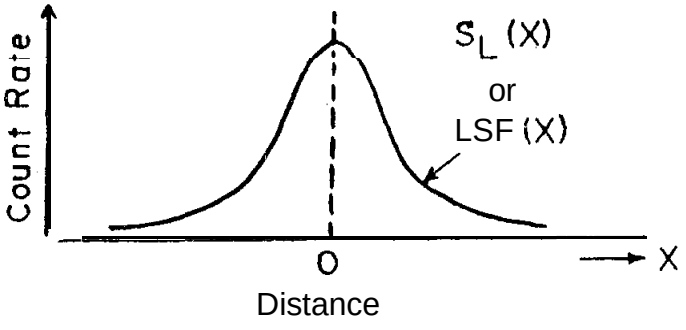
$$MTF\ (v) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} LSF(x) \cdot \cos(2\pi\nu x) \cdot dx}{\int_{-\infty}^{\infty} Lsf(x) \cdot dx}$$

·ความไวระนาบ S_A

ความไวระนาบถูกนิยามเป็นส่วนของรังสีแกมมาที่ถูกนับวัดต่อหน่วยเวลาต่อหน่วยพื้นที่ ของต้นกำเนิดที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ระนาบกว้าง ซึ่งประกอบด้วยกัมมันตภาพรังสีอย่างสม่ำเสมอ (ทั่วบริเวณ) พารามิเตอร์มักถูกใช้ในการเปรียบเทียบความไวของอุปกรณ์สร้างภาพสองเครื่อง ข้อได้เปรียบที่เด่นชัดของ S_A คือ สามารถวัดค่าได้ง่ายนั่นเอง ความไวระนาบจะไม่แปรค่าตามระยะห่างของต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบ จากคอลลิเมเตอร์ตราบเมื่อพื้นที่ของต้นกำเนิดรังสีแบบระนาบมีขนาดใหญ่กว่าสนามการมองเห็นของคอลลิเมเตอร์ ณ ระยะห่างนั้น ๆ

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อสเปเชียลเรโซลูชันและความไวของอุปกรณ์สร้างภาพ

อุปกรณ์สร้างภาพจะมีค่าเรโซลูชันและความไวขึ้นกับตัวแปรจำนวนมาก ดังจะอธิบายในรายละเอียดต่อไป ด้านทฤษฎี การบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ของบรรดาตัวแปรดังกล่าวกับค่าเรโซลูชันและความไวนั้นไม่สามารถกระทำได้ง่าย ๆ และการใช้สูตรดังกล่าวประมาณลักษณะไม่เป็นอิสระของเรโซลูชันและความไวต่อตัวแปรที่กำหนดขึ้นได้ การนำเสนอต่อไปนี้จะใช้สูตรที่ง่ายกว่าวิธีการที่กล่าวไว้ นอกจากนี้ จะใช้สัญลักษณ์ R และ S_A แทนค่าของเรโซลูชันและความไวของอุปกรณ์สร้างภาพตามลำดับ โดยสมมุติว่า



รูป 12-4 ฟังก์ชันไลน์สเปรดของอุปกรณ์สร้างภาพ วัดโดยเคลื่อนต้นกำเนิดกัมมันตภาพรังสีแบบเส้นไปในทิศทางตั้งฉากกับความยาวของมัน แต่อยู่ในระนาบซึ่งขนานกับผิวหน้าคอลลิเมเตอร์ ถ้าใช้แกมมาคาเมราจะหาค่า LSF ได้โดยไม่ต้องเคลื่อนต้นกำเนิดถ้าต่อคาเมรากับระบบคอมพิวเตอร์

1) รังสีแกมมาไม่มีการทะลุทะลวงผ่านผนังคอลลิเมเตอร์ (หมายถึง ช่องกั้นระหว่างรูคอลลิเมเตอร์ คือ "เซปตา" (septa) ของเครื่องสแกน

2) รังสีแกมมาในนิวไคลด์รังสีไม่มีการกระเจิงในต้นกำเนิดรังสี

เครื่องสแกนเรคทิลิเนียร์ :

ถ้ายึดตามข้อสมมุติดังกล่าวข้างต้นจะสามารถหาเรโซลูชันของ เครื่องสแกนเรคทิลิเนียร์ได้ตามลำพัง โดยอาศัย เรโซลูชันของคอลลิเมเตอร์ แบบโฟกัส ให้ R แทนเรโซลูชันของคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัส ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของรู (d) ความยาว (L) และความยาวโฟกัส (F) ของคอลลิเมเตอร์ (รูป 12 –5) เขียนสมการความสัมพันธ์ดังนี้

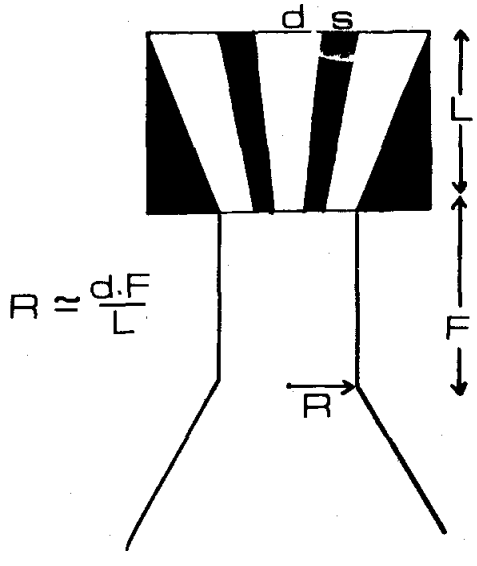
$$R \simeq \frac{d.F}{L} \qquad (1)$$

จากสมการนี้เห็นได้ว่า ถ้าต้องการปรับปรุงค่าเรโซลูชัน (กล่าวคือ ลดค่า R) ของคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัส ซึ่งมีความยาวโฟกัส F จึงต้องลดค่า d หรือเพิ่มค่า L

ความไว S_A ของเครื่องสแกนเรคทิลิเนียร์ที่ใช้ผลึก NaI(Tl) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D จะมีค่าขึ้นกับ d,F,L,s และ $\in_p$ โดย s คือ ความหนาเซปตา (septa) และ $\in_P$ เป็นประสิทธิภาพโฟโตพีค (photopeak efficiency) ของผลึก NaI(Tl) ณ พลังงานแกมมาค่าหนึ่ง ($\in_P$ ขึ้นกับความหนาของผลึกเท่านั้น) ความสัมพันธ์ของ S_A กับตัวแปรต่าง ๆ ดังกล่าวเขียนได้เป็น

$$S_A \simeq \frac{\pi d^4}{64L^2} \cdot \frac{\overline{F^2}}{(F+L)^2} \cdot \frac{3D^2}{(d+s)^2} \cdot \in_p \qquad (2)$$

จากสมการนี้เห็นได้ว่า การเพิ่ม S_A ทำได้โดยเพิ่ม d หรือค่า L ก้ได้ ซึ่งเป็นกรณีตรงข้ามกับการพัฒนาเรโซลูชัน R โดยทั่วไปถ้าใช้คอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสม $S_A \propto R^2$ กล่าวคือ ถ้ามีการพัฒนาเรโซลูชันของเครื่องสแกนเรคทิลิเนียร์ด้วยแฟคเตอร์ 2 จะต้องลดความไวลงด้วยแฟคเตอร์ 4



รูป 12-5 การที่เรโซลูชัน R มีค่าขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเปิดคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัสคือ d และความหนาหรือความยาว L ของคอลลิเมเตอร์ ถ้าลดค่า d จะเพิ่มค่า R

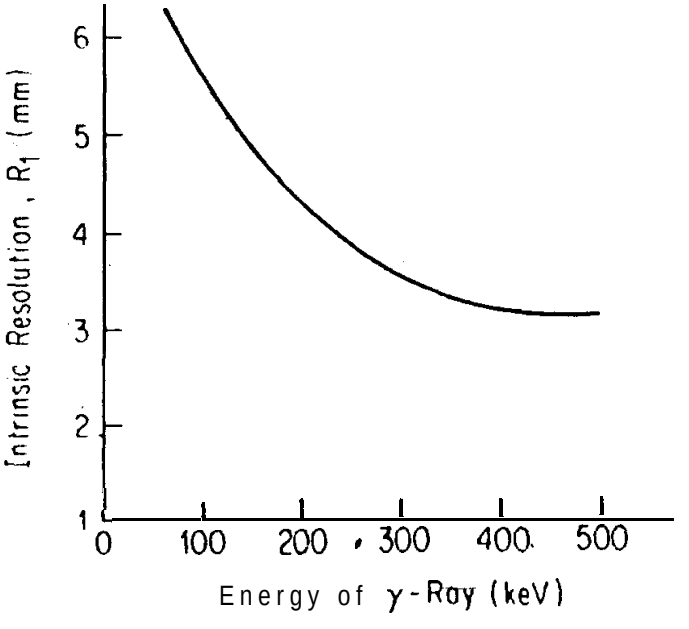
เครื่องซินทิลเลชันคาเมรา :

เรโซลูชัน R ของซินทิลเลชันคาเมรา ประกอบด้วย R_1 และ R_2 โดย R_1 เป็นเรโซลูชันอินทรินสิค (intrinsic resolution) ของเครื่องแกมมาคาเมรา และ R_2 เป็นเรโซลูชันของคอลลิเมเตอร์ที่ใช้ร่วมกับเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา (กล่าวคือ แยกองค์ประกอบของเรโซลูชัน R ออกเป็นสองส่วนคือ R_1 และ R_2 โดย R_1 เป็นเรโซลูชันของแกมมาคาเมราโดยเฉพาะ R_2 เป็นเรโซลูชันของคอลลิเมเตอร์ที่ใช้ร่วมกับแกมมาคาเมรา ซึ่งค่า R ลัพธ์ เป็นค่าเฉลี่ยของผลรวม R_1 และ R_2 ตามสมการ (3) นั่นเอง, ผู้แปล) ความสัมพันธ์ของเรโซลูชัน R และ R_1, R_2 เขียนโดยประมาณได้เป็น

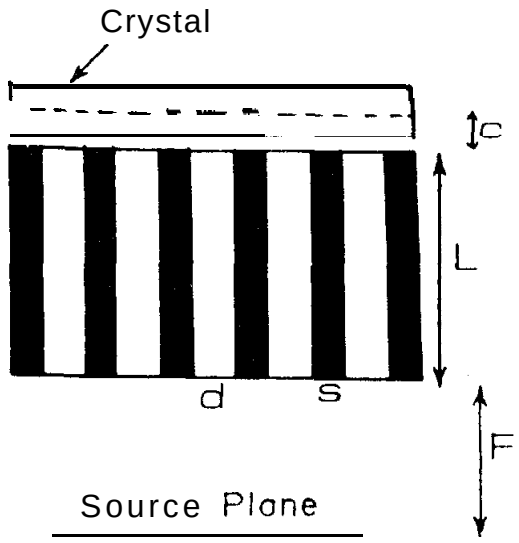
$$R = \sqrt{R_1^2 + R_2^2} \qquad (3)$$

อินทรินสิคเรโซลูชัน R_1 เป็นการวัดความไม่แน่นอนในกระจายตำแหน่งของจุดซึ่งแสงถูกผลิตขึ้นภายในผลึก และจะถูกลดค่าลงตามการเพิ่มความหนาของผลึก NaI(Tl) แต่จะถูกพัฒนาค่าดีขึ้นโดยเพิ่มพลังงานรังสีแกมมา ลักษณะการพัฒนาค่าอินทรินสิคเรโซลูชันของคาเมราตามการเพิ่มพลังงานแกมมาแสดงในรูป 12 – 6

เรโซลูชัน R_2 ขึ้นกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของคอลลิเมเตอร์ เช่น ความยาวคอลลิเมเตอร์ L เส้นผ่าศูนย์กลางของรูเปิด d เป็นต้น ในการพิจารณา ณ ที่นี้จะจำกัดเพียงคอลลิเมเตอร์แบบรูขนานในรูป 12 – 7 สำหรับคอลลิเมเตอร์แบบ converging หรือ diverging ในกรณีนี้ R_2 มีค่าขึ้นกับเส้นผ่าศูนย์กลางของรูเปิด d ความยาวของคอลลิเมเตอร์ L ความหนาของผลึก c และระยะจากต้นกำเนิดรังสีถึงผิวหน้าของคอลลิเมเตอร์ F แสดงความสัมพันธ์ของ R_2 ได้ดังนี้



รูป 12-6 แองเกอร์คาเมรามีค่าอินทรินสิคเรโซลูชัน R_1 ขึ้นกับพลังงานของรังสีแกมมา



$$R_2 \simeq \frac{d(L+F+c)}{L}$$

รูป 12-7 คอลลิเมเตอร์แบบรูขนานมีค่าเรโซลูชัน R_2 ขึ้นกับความยาว L และเส้นผ่าศูนย์กลาง d ของรูเปิด ถ้าลดค่า d หรือเพิ่มค่า L จะทำให้ R_2 ดีขึ้น ความไวของคอลลิเมเตอร์นี้ ยังแปรเป็นส่วนกลับของเรโซลูชัน

$$R_2 \simeq \frac{d(F+L+c)}{L} \qquad (4)$$

เมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ห่างจากคอลลิเมเตอร์ F ถ้าต้องการพัฒนาค่า R_2 ให้ดีขึ้นจะต้องลดค่า d และ c หรือเพิ่มค่า L (เนื่องจาก L เป็นตัวหารในสมการที่ (4) นั่นเอง (ผู้แปล)) ความไว S_A ขึ้นอยู่กับค่าของ d,L,D,$\in_p$ และ s ดังนี้

$$S_A \simeq \frac{\pi d^4}{64L^2} \cdot \frac{3D^2}{4(d+s)^2} \in_p \qquad (5)$$

จากสมการที่ (5) เห็นได้ว่า S_A จะเพิ่มค่าได้โดยการเพิ่ม d หรือลดค่า L ซึ่งเป็นการปฏิบัติตรงข้ามกับกรณีต้องการพัฒนาเรโซลูชัน R_2 (รำลึกเสมอว่า การพัฒนาค่า R หมายถึงทำให้ R มีค่าน้อย ๆ ในสมการทางคณิตศาสตร์ (ผู้แปล)) (และความสัมพันธ์ของความไวกับเรโซลูชันเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ที่เหมาะสมคือ $S_A \alpha D^2$) ดังนั้นการเพิ่มค่า R_2 สองเท่าทำโดยเพิ่มค่า d หรือลดค่า L จะก่อให้เกิดการสูญเสียในค่าของ S_A สี่เท่า ถ้าจะเพิ่มความไวของคอลลิเมเตอร์แบบรูขนานทำได้โดยเพิ่มค่าเส้นผ่าศูนย์ กลางของผลึก $D(S_A \alpha D^2)$ อย่างไรก็ตาม สำหรับกรณีนี้ เรโซลูชันของระนาบที่อยู่ใต้หรือเหนือกว่า F ของเครื่องสแกนเรดทิลิเนียร์ จะไม่มีผลใด ๆ ตามหลักการดังกล่าวผลึกซินทิลเลชันคาเมรา 13″ จะมีความไวเท่ากับ $13^2/11^2$ หรือ 1.4 เท่าของผลึกซินทิลเลชันคาเมราขนาด 11″ การที่เครื่องซินทิลเลชันคาเมรามีผลึกขนาดใหญ่ซึ่งเพิ่มความไวนั้น จะเป็นประโยชน์เฉพาะกรณีซึ่งอวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพมีขนาดเดียวกับผลึกเท่านั้น

การลดค่าสเปเชียลเรโซลูชันเนื่องจากการทะลุทะลวงผ่านเซปตา :

รายละเอียดในตอนที่แล้วนั้นได้สมมุติว่ารังสีแกมมาไม่เกิดการทะลุทะลวงผ่านเซปตาของคอลลิเม-เตอร์เพื่อเข้าสู่หัววัดได้เลย ลักษณะการกำจัดข้อกำหนดดังกล่าวจะใช้ได้เฉพาะในกรณีที่คอลลิเมเตอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับรังสีแกมมาพลังงานต่ำ (<150 keV) เท่านั้น แต่สำหรับคอลลิเมเตอร์ที่ได้รับการออกแบบเพื่อใช้กับรังสีแกมมาพลังงานสูง ย่อมเกิดมีการทะลุทะลวงดังกล่าวเสมอ (ผู้อ่านคงนึกตั้งคำถามว่า ทำไมจึงไม่เพิ่มความหนาของเซปตาเพื่อกำจัดปรากฏการณ์ดังกล่าว, ผู้แปล) ทั้งนี้เพราะการลดปริมาณทะลุทะลวงของรังสีแกมมาโดยเพิ่มความหนาเซปตานั้นจะส่งผลให้คอลลิเมเตอร์ มีความไวต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด กล่าวคือ อยู่ในขีดที่ไม่สามารถใช้งานได้

การเกิดทะลุทะลวงผ่านเซปตา (ของรังสีแกมมา, ผู้แปล) ส่งผลต่อค่าเรโซลูชัน คือเป็นการลดคุณภาพลงนั่นเอง แท้จริงแล้วการทะลุทะลวงผ่านดังกล่าวอาจเกิดจากการเพิ่มเส้นผ่าศูนย์กลาง d ของรูเปิดของคอลลิ-เมเตอร์ การขยายวงในด้านลดคุณภาพของเรโซลูชันอยู่กับดีกรีของการทะลุทะลวงผ่านเซปตา ยิ่งมีการทะลุทะลวงสูงจะยิ่งเป็นการลดคุณภาพของเรโซลูชัน

การแปรค่าสเปเชียลเรโซลูชันตามความลึก :

ทั้งซินทิลเลชันคาเมรา และเครื่องสแกนเรดทิลิเนียร์ จะมีค่าเรโซลูชันแปรตามความลึกหรือระยะห่างจากผิวหน้าคอลลิเมเตอร์ สำหรับซินทิลเลชันคาเมรา มีค่าเรโซลูชันดีเลิศที่บริเวณผิวหน้าของคอลลิเม-เตอร์ ยิ่งระยะห่างจากผิวหน้าเพิ่มมากขึ้น จะยิ่งมีเรโซลูชันเลวลง ลักษณะที่เรโซลูชันของซินทิลเลชันคาเมรามีค่าขึ้นกับความลึกของคอลลิเมเตอร์แบบรูขนานที่ใช้ทั่วไปนั้นแสดงในรูป 12 –8 ซึ่งทั้ง R และ MTF ถูกใช้เป็นดัชนีของเรโซลูชัน

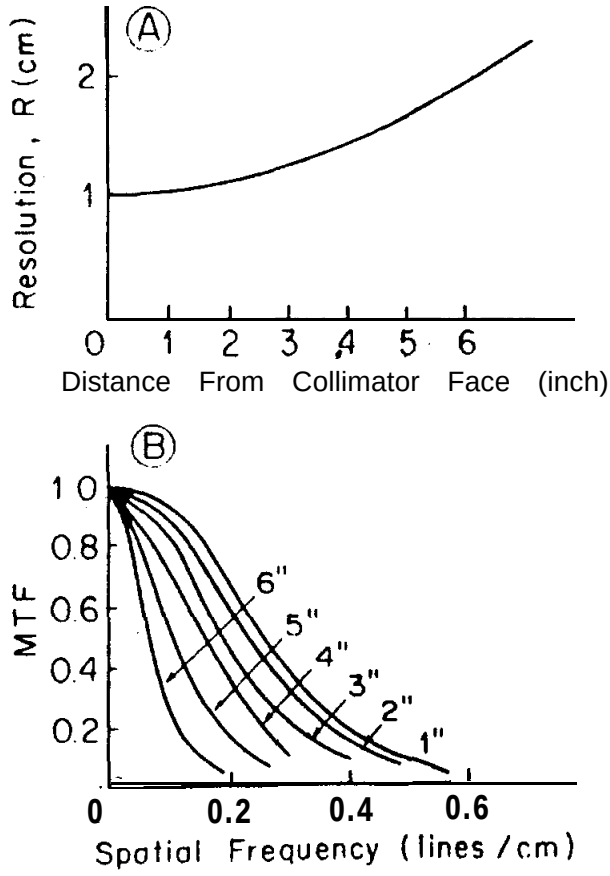
ยูนิฟอร์มิตีและการทำงานที่อัตรานับวัดมีค่าสูงของเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา

นอกจากเรโซลูชันและความไวแล้ว ซินทิลเลชันคาเมรายังมีพารามิเตอร์ใช้แสดงลักษณะสมบัติอีก 2 ค่า ได้แก่ ยูนิฟอร์มิตี (uniformity) และลักษณะการทำงานเมื่ออัตรานับวัดมีค่าสูง ซึ่งจัดเป็นองค์ประกอบสำคัญในการใช้งาน ซินทิลเลชันคาเมรา เหมาะสม

ยูนิฟอร์มิตี (Uniformity) หมายถึงความสามารถของซินทิลเลชันคาเมราในการถ่ายภาพการกระจายค่าของกัมมันตภาพรังสีอย่างสม่ำเสมอได้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง (พึงรำลึกว่าในต้นกำเนิดรังสีที่ยูนิฟอร์มจะไม่มีการแปรค่าอัตรานับวัด ดังนั้นเรโซลูชันมีบทบาทน้อยต่อการตอบสนอง ยูนิฟอร์มิตี ของเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา) ในทางปฏิบัติเครื่องซินทิลเลชันคาเมราจะผลิตภาพที่มีลักษณะไม่ยูนิฟอร์ม (non-uniform) หรือไม่โฮโมจีเนียส (imhomogeneous) โดยแปรขอบเขตต่างกันไป ซึ่งต้นกำเนิดรังสีมีคุณสมบัติ ยูนิฟอร์ม

กรณีภาพมีลักษณะไม่โฮโมจีเนียส หรือ อัตรานับวัดแปรค่าในบริเวณหนึ่งต่างไปจากอีกบริเวณหนึ่ง

ภายในภาพ ซึ่งต้นกำเนิดรังสี ยูนิฟอร์มนั้น อาจมีปริมาณมากถึง ± 10% ภายในภาพเองจะปรากฏบริเวณที่มีรังสีเพิ่มหรือลดลง ซึ่งเรียกชื่อเป็นกลุ่ม "ฮอต" (hot) หรือ "โคลด์" (cold) ตามลำดับ



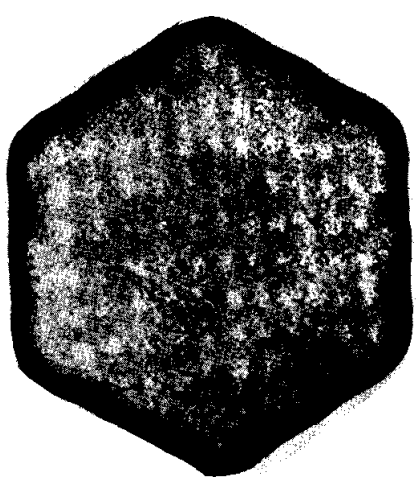
รูป 12-8 ซินทิลเลชันคาเมรามีเรโซลูชันแปรค่าความลึกเรโซลูชันดีเลิศได้จากตำแหน่งชิดคอลลิเมเตอร์มากที่สุด ในรูป A นั้นใช้ R วัดเรโซลูชัน ในรูป B ใช้ MTF แทน อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกรณีมีการแปรค่าเรโซลูชันตามความลึกในลักษณะเดียวกัน จำนวนเส้นกราฟ MTF ในรูป B นั้นมีระยะห่างจากผิวคอลลิเมเตอร์ต่างกัน

แม้ว่าการเกิดลักษณะไม่โฮโมจีเนียสบ้างบางบริเวณในภาพที่ได้จากต้นกำเนิดรังสียูนิฟอร์มจะมีสาเหตุจากการแปรค่าความหนาของผลึก NaI(Tl) เล็กน้อยและในการส่งผ่านรังสีแกมมาโดยคอลลิเมเตอร์ ต้นเหตุสำคัญในการก่อให้มีการตอบสนองแบบไม่ยูนิฟอร์มดังกล่าว ได้แก่ ธรรมชาติของอิเล็กทรอนิก ทั้งยังส่งผลเชื่อมโยงถึงการตอบสนองที่แตกต่างกันไปของหลอด PM ตลอดจนการส่งผ่านแสงที่ถูกผลิตขึ้นมา ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในผลึก ความแตกต่างหลากหลายดังกล่าวก่อให้เกิดการนับวัดผิดตำแหน่งบ้างจำนวนหนึ่ง โดยทั่วไปมักสาธิตการนับวัดผิดตำแหน่งของค่านับวัดบางค่าในซินทิลเลชันคาเมราโดยถ่ายภาพของต้นกำเนิดรังสีที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ภาพของต้นกำเนิดรังสีแบบเส้นตรงจะปรากฏเป็นแนวโค้งอาจเป็นแบบเว้าเข้าหรือนูนออกจากศูนย์กลางของซินทิลเลชันคาเมรา ("pin cushion" หรือ "barrel distortion" ใน optical analogy) การเพี้ยน (Distortion) ของต้นกำเนิดรังสีเส้นตรงจะสังเกตเห็นได้เฉพาะกรณีซินทิลเลชันคาเมรายังไม่ถูกปรับหรือ "จูน" ปริมาณของ

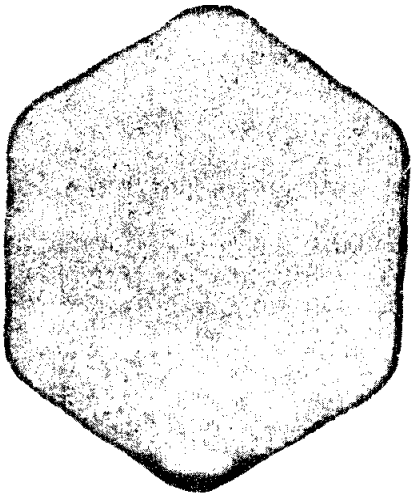
การไม่ลิเนียร์จะปรากฏเสมอ แม้ว่าจะไม่เห็นได้ในภาพที่คาดว่าจะผลิตได้และคาเมราได้ผ่านการปรับค่าอย่างถูกต้องก็ตาม ผลลัพธ์ของการไม่ลิเนียร์เพียงเล็กน้อยดังกล่าวแล้วนั้น ได้แก่การตอบสนองที่มองเห็นได้ว่าไม่เป็นโฮโมจีเนียสของซินทิลเลชันคาเมราที่มีต่อต้นกำเนิดรังสียูนิฟอร์ม วิธีการลดความไม่โฮโมจีเนียสให้มีค่าต่ำสุด ทำโดยปรับซิลทิลเลชันคาเมราให้มีค่าถูกต้อง ในการปรับนั้นเกี่ยวเนื่องกับการจัดปรับค่า "เกน" (gain) ของหลอด PM แต่ละหลอดเสียใหม่ เพื่อแก้ลักษณะตอบสนองที่แตกต่างกันไปใน PM แต่ละหลอด แต่ "เกน" ของหลอด PM อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า ฯลฯ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการตรวจสอบยูนิฟอร์มมิตีของการตอบสนองอย่างสม่ำเสมอ

รูปแบบอื่นในการตอบสนองที่ไม่ยูนิฟอร์มของซินทิลเลชันคาเมรานั้นรู้จักทั่วไปคือ "edge packing" อาการดังกล่าวแสดงถึงการนับวัดผิดตำแหน่งเช่นกัน ในภาพจะปรากฏเป็นวงสว่างรอบ ๆ ภาพ (รูป 12 –9) สาเหตุได้แก่มีแสงสะท้อน ณ บริเวณขอบผลึกโดยมีหลอด PM ปรากฏอยู่เพียงด้านเดียวเท่านั้น ผลลัพธ์คือปริมาณนับวัดที่มาจากบริเวณใกล้ ๆ ขอบ (ผลึก, ผู้แปล) จะถูกรวมเป็นกลุ่มอยู่ด้วยกัน บริเวณที่เกิดมี "edge packing" ไม่เคยใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านคลินิก ดังนั้น จึงมักกำบังบริเวณดังกล่าวด้วยแหวนตะกั่วรอบคอลลิเมเตอร์

ซินทิลเลชันคาเมรารุ่นใหม่จะแก้การตอบสนองที่ไม่ยูนิฟอร์มด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งอาจทำการเพิ่มปริมาณนับวัดจำนวนหนึ่ง (ซึ่งเป็นปริมาณแน่นอน) ที่บริเวณ "โคลด์" ในภาพที่ผิดไปจากต้นกำเนิดรังสีที่เป็นยูนิฟอร์มหรืออาจลบบริเวณนับวัดจำนวนหนึ่ง (ซึ่งเป็นปริมาณแน่นอน) จากบริเวณ "ฮอต" ในภาพที่แตกต่างจากต้นกำเนิดรังสีที่เป็นยูนิฟอร์ม ด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะช่วยลดการไม่โฮโมจีเนียสที่ระดับการแก้ไขแล้วประมาณ ~ 3% ความไม่โฮโมจีเนียสที่ระดับดังกล่าวไม่สามารถสังเกตเห็นในภาพที่ถูกผลิต นั่นคือ ภาพปรากฏเป็นยูนิฟอร์ม



รูป 12-9 ภาพ "ฟลัด" ที่ไม่ถูกต้องแสดงถึงความไม่ยูนิฟอร์มของซินทิลเลชันคาเมรา รูปขอบรอบนอกที่มีความเข้มมากเนื่องจาก "edge packing"



รูป 12-10 การใช้คอมพิวเตอร์แก้ไขภาพ "ฟลัด" ถูกต้อง ภาพแสดงความยูนิฟอร์ม จากซินทิลเลชันคาเมรา

(รูป 12 –10) ผู้แต่งขอเสนอว่าวิธีการแก้ไขดังกล่าวเป็นเพียงการพัฒนาภาพที่มองเห็นเท่านั้น มิใช่เป็นการแก้ไขสาเหตุของการไม่โฮโมจีเนียสตามที่กล่าวแล้วข้างต้นซึ่งได้แก่ความคลาดเคลื่อนของค่านับจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง

สาเหตุของการตอบสนองอย่างไม่ยูนิฟอร์มมักเกิดจากปริมาณแสงที่ถูกส่งไปยังหลอด PM นั้น มีการแปรค่าการกระจายในบริเวณนั้น ๆ (ซึ่งย่อมส่งผลถึงความแรงของสัญญาณด้วย) และการตอบสนองอย่างไม่ลิเนียร์ในวงจร X,Y เนื่องจากค่า "เกน" ของ PM มีการแปรไปเล็กน้อย สำหรับซินทิลเลชันสมัยใหม่ (มักเรียกเป็น "ดิจิตอลคาเมรา") จะรับสื่อดังกล่าวโดยการจัดและแจงปริมาณการแปรค่าดังกล่าว จากนั้นแก้ไขโดยต่อเชื่อมกับไมโครโปรเซสเซอร์ ในการแก้ไขลักษณะนี้จะก่อยูนิฟอร์มมิตีของการตอบสนองภายใน 2% สนามการมองเห็นที่ใช้งานของซินทิลเลชันคาเมรา คาเมราชนิดดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับภาพตัดขวางที่ได้จากการเปล่งโฟตอนเดี่ยวหรือมักเรียกทับศัพท์เป็น SPECT (ย่อมาจาก single photon emission tomography) ซึ่งจะเสนอรายละเอียดในบทที่ 14

กรณีคอลลิเมเตอร์ทำการส่งผ่านรังสีแกมมาแบบไม่ยูนิฟอร์มนั้นจะต้องทำการทดสอบแยกต่างหากออกไป ถ้าผลปรากฏว่าจัดอยู่ในกรณีเกินขอบเขตการใช้งานก็จะต้องเปลี่ยนคอลลิเมเตอร์ ถ้าสมมุติเลือกใช้คอลลิเมเตอร์ได้เหมาะสมแต่ปรากฏมีรอยเว้า หรือร่องรอยที่ไม่คุ้นเคยมาก่อนเป็นบางครั้ง ควรทำการตรวจสภาพของคอลลิเมเตอร์

ลักษณะการทำงานเมื่ออัตรานับวัดมีค่าสูง

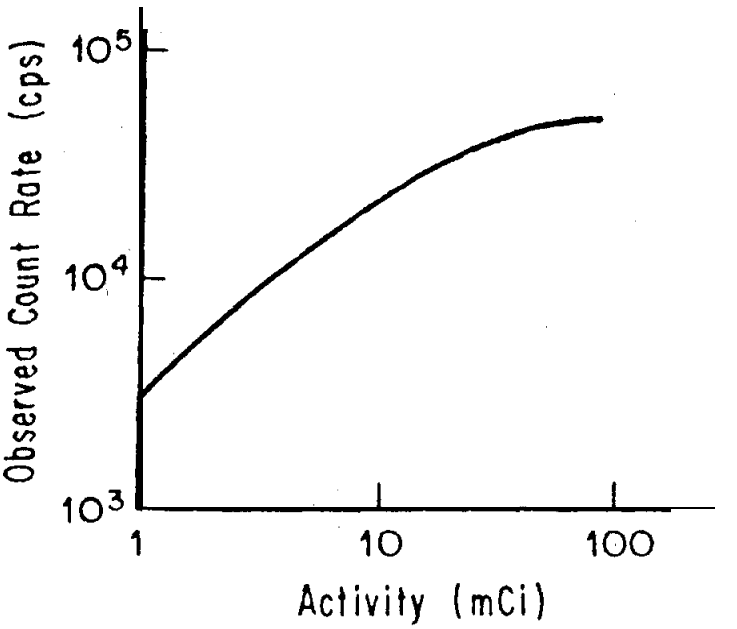
เนื่องจากแกมมาคาเมราที่หัววัดเป็นผลึก NaI(Tl) ซึ่งใช้วัดรังสีแกมมาตลอดจนหาตำแหน่งที่รังสีแกมมาชนกับผลึก ถ้าอัตรานับวัดมีค่าสูงนอกจาก จะมีการลดนับวัดเนื่องจาก "เดดไทม์" (dead time) แล้วยังอาจ

เกิดกรณีนับวัดผิดตำแหน่งอีกด้วย ที่อัตรานับวัดมีค่าสูงจะมีการเพิ่มโอกาสที่รังสีแกมมา 2 ตัว ชนกับผลึกในเวลาเดียวกัน (ภายในช่วงเวลา "เดดไทม์" ของหัววัด) อย่างรวดเร็วมาก ถ้าเกิดมี 1 หรือทั้งสองรังสีแกมมาชนกับผลึกแล้วเกิดปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริคแสงที่ถูกผลิตขึ้นจะมีปริมาณมากกว่าแสงที่เกิดจากรังสีแกมมาเพียงตัวเดียวซึ่งชนกับผลึกด้วยปรากฏการณ์เดียวกัน ดังนั้น ถ้า PHS ถูกปรับค่าให้อยู่บนโฟโตพีครังสีแกมมาทั้งสองดังกล่าวจะรวมกันเป็นหนึ่งแกมมาแต่มีพลังงานสูงกว่า และถูกตัดออกโดย PHS กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ถ้ารังสีแกมมาทั้งสองมีการชน (กับผลึก) แบบคอมป์ตันและแต่ละครั้งของการชนกันมีการผลิตแสงปริมาณมากเพียงพอจนทำให้ผลบวกของเหตุการณ์นี้ 2 ครั้ง มีค่าเท่ากับแสงที่ถูกผลิตโดยการชนกับแบบโฟโตอิเล็กทริคของหนึ่งรังสีแกมมา แกมมาทั้งสองนั้นจะรวมกันเป็นหนึ่งรังสีแต่พลังงานมีค่าถูกต้อง (ตามที่กำหนดใน PHS ผู้แปล) จึงผ่านการคัดเลือกโดย PHS อย่างไรก็ตามตำแหน่งของการ ชนกันนั้นจะเป็นค่ากลางของตำแหน่งการชนกันของสองรังสีแกมมาซึ่งปรากฏในภาพ ดังนั้น จัดเป็นกรณีการนับวัดผิดตำแหน่ง

ค่า "เดดไทม์" ของซินทิลเลชันคาเมราแยกได้เป็น 2 องค์ประกอบ คือ ทำให้เป็นอัมพาตได้ (paralyzable) และไม่สามารถทำให้เป็นอัมพาต (non-paralyzable) (ถ้ากรณีเป็นอัมพาต หมายถึงในช่วงเวลานั้นหัววัดจะไม่มีการทำงานไม่รับรู้สัญญาณแสงที่เกิดจากรังสีแกมมา ส่วนอีกกรณีหนึ่งก็อธิบายได้ในทางตรงข้ามกับที่กล่าวนี้ ผู้แปล) ถ้าเป็นสภาพกำหนดแบบอุดมคติจะให้ "เดดไทม์" มีค่าระหว่าง 1-2 μsec อย่างไรก็ตามค่า "เดดไทม์" ของซินทิลเลชันคาเมราเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนของความกว้างวินโดว์ที่ใช้งานอยู่ วัสดุก่อให้เกิดการกระเจิงซึ่งปรากฏอยู่บริเวณรอบ ๆ ต้นกำเนิดรังสี การปรากฏรังสีแกมมามากกว่าหนึ่งค่าพลังงานในการเปล่งรังสีของนิวไคลด์รังสีที่ใช้ ฯลฯ ดังนั้น จำต้องหาค่า "เดดไทม์" ของซินทิลเลชันคาเมรา ภายใต้สภาพปกติที่นิยมปฏิบัติทั่วไปในด้านคลินิกภายใต้กฎเกณฑ์นี้อาจทำให้ "เดดไทม์" มีค่าเป็น 10-15 μsec ลักษณะการสร้างอัตรานับวัดของซินทิลเลชันคาเมราที่ใช้งานทั่วไปนั้นแสดงในรูป 12 –11

การควบคุมคุณภาพของอุปกรณ์สร้างภาพ

การอ่านผลสแกนได้ถูกต้องเพียงใดนั้นขึ้นกับความถูกต้องของข้อมูล ดังนั้น ประการสำคัญที่สุดคืออุปกรณ์สร้างภาพนิวเคลียร์จะต้องได้รับการปรับค่าอย่างเหมาะสมและมีความเที่ยงตรง เนื่องจากอุปกรณ์ประเภทนี้มีองค์ประกอบอิเล็กทรอนิกส์จำนวนมาก ซึ่งส่งอิทธิพลต่อการตอบสนองเนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามีการแปรค่าหรือเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม วิธีที่ดีที่สุดในการรับประกันความถูกต้องและเที่ยงตรงของอุปกรณ์ดังกล่าว ได้แก่การจัดโปรแกรมควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ วิธีการควบคุมคุณภาพซึ่งสามารถนำมาแสดงสู่จอภาพเกี่ยวกับการแปรเปลี่ยนลักษณะสมบัติการทำงานของเครื่องแบบวันต่อวัน ทั้งนี้เพื่อเตือนให้ผู้ใช้มีความระมัดระวังและสามารถรับทราบวิสัยการทำงานที่เลวลงหรือไม่อยู่ในขอบเขตที่จะยอมรับผลเสียได้ รายละเอียดดังกล่าวเป็นวิธีการกึ่งปริมาณ (การประเมินค่าโดยอาศัยทั้งข้อมูลจากปฏิบัติการและจากทฤษฎีร่วมกัน, ผู้แปล) วิธีการปฏิบัติดังจะกล่าวดังรายละเอียดต่อไปนี้



รูป 12-11 การตอบสนองอัตรานับวัดของซินทิลเลชันคาเมรา

ซินทิลเลชันคาเมรา

มี 3 พารามิเตอร์สำคัญซึ่งมักถูกทดสอบเสมอเพื่อรับประกันประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ได้แก่

(1) การสร้างพีค

(2) การมี "ฟิลด์ยูนิฟอร์มิตี"

(4) สเปเชียลเรโซลูชัน

การสร้างพีค

การทดสอบลักษณะการสร้างพีคของอุปกรณ์ทุกวัน เพื่อยืนยันว่า "วินโดว์" ของ PHS ถูกปรับค่าอย่างถูกต้องเหมาะกับพีคที่ต้องการนับวัด ลำดับขั้นตอนในการทดสอบการสร้างภาพพีคของซินทิลเลชันคาเมราดังนี้

(1) วางต้นกำเนิดรังสีเล็กไว้ใต้ซินทิลเลชันคาเมรา (ถ้าไม่มีคอลลิเมเตอร์ ใช้ ^{99m}Tc 100-200 μCi ถ้าใช้คอลลิเมเตอร์ต้องให้ ^{99m}Tc มีความแรง 1-2 mCi)

(2) ตั้งคาเมราให้อยู่ "สเปคตรัม" (เป็นการเลือกสั่งให้เครื่องทำงาน ซึ่งอาจเลือกสั่งให้แสดงภาพสแกนก็ได้, ผู้แปล) ปรับค่าพลังงานและความกว้าง "วินโดว์" เพื่อให้เหมาะสมกับนิวไคลด์รังสีที่ใช้อยู่ (สำหรับ ^{99m}Tc คือ 140 และ 20% วินโดว์)

(3) สังเกตว่าโฟโตพีคอยู่ภายในวินโดว์หรือไม่ ถ้าไม่ จะต้องเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงอย่าง

ช้า ๆ เพื่อให้โฟโตพีคอยู่ ณ ศูนย์กลางของวินโดว์

(4) ถ่ายภาพสเปคตรัมและบันทึกการจัดปรับค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงควรจะไม่เกิน 10% จากวันหนึ่งถึงอีกวันหนึ่งถัดไป ถ้าแปรค่ามากเกินที่กล่าวนี้ สังเกตว่าสาเหตุดังกล่าวจะก่อให้เกิดการทำงานของเครื่องไม่ดี และในกรณีนี้ พึงตรวจเสมอว่ามีรอยนิ้วมือหรือฝุ่น ฯลฯ เปื้อนบนจอออสซิสโลสโคปหรือไม่ลูกกลิ้งของกล้องโพลารอยด์สะอาดหรือไม่

ฟิลด์ยูฟอร์มิตี

การทดสอบนี้เพื่อแสดงว่าการแปรค่าอัตรานับวัดในภาพที่เกิดจากต้นกำเนิดรังสียูนิฟอร์มนั้นอยู่ภายในขอบเขตที่ยอมรับว่าใช้ได้ และสรุปได้ว่าซินทิลเลชันคาเมราถูกปรับค่าอย่างถูกต้องในการตรวจสอบนั้นจะตรวจสอบเฉพาะ "อินทรินสิคฟิลด์ยูนิฟอร์มิตี" (intrinsic field uniformity) เท่านั้น เนื่องจากถือว่าการตอบสนองของคอลลิเมเตอร์ไม่แปรค่านอกจากเกิดกรณีเสียหายทางกายภาพ

ลำดับขั้นตอนของวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. ถอดคอลลิเมเตอร์ออก เลื่อนหัววัดให้อยู่สูงจากพื้น 4 – 5 ฟุต
2. วางต้นกำเนิดรังสี ^{99m}Tc 100-200 μCi แต่มีปริมาณเล็ก ๆ (0.2 ml) ลงบนพื้น (ควรวางกระดาษซับไว้ใต้ต้นกำเนิดรังสี เพื่อกันการเปรอะเปื้อนพื้น)
3. ปรับปุ่ม "preset" (เป็นอักษรเขียนกำกับปุ่มบนเครื่อง, ผู้แปล) เพื่อจัดค่านับวัดให้สูงถึง 10^6 เคานต์ (count) สำหรับ "ฟิลด์ออฟวิว" ขนาดเล็ก ถ้า "ฟิลด์ออฟวิว" ขนาดใหญ่ให้ใช้ค่านับวัดเป็น 2×10^6
4. ปรับความเข้มบนจอออสซิสโลสโคปให้อยู่ในระดับอัตรานับวัด 10^6 หรือ 2×10^6 เคานต์ ขึ้นกับชนิด (ยี่ห้อ) ของซินทิลเลชันคาเมรา
5. เปิดเครื่องซินทิลเลชันคาเมรา และบันทึกภาพไว้

ภาพที่ได้มาจากการปฏิบัติตามขั้นตอนดังกล่าวสามารถใช้ประเมินยูนิฟอร์มิตีรูปร่างของภาพ (ควรเป็นวงกลมสวยงาม) และ "อาร์ติแฟคท์" อื่น ถ้ามีการแปรค่ามากกว่า ±10% จะเห็นได้ชัดเจนในภาพ และจัดเป็นความคลาดเคลื่อนที่มากเกินขอบเขตซึ่งกำหนดว่ายอมให้เกิดขึ้นได้ ถ้าเป็นซินทิลเลชันคาเมราที่มีการแก้ยูนิฟอร์มิตี ต้องถ่ายภาพ 2 ภาพ โดยภาพหนึ่งถ่ายเมื่อปิด "ไมโครโปรเซสเซอร์" และอีกภาพหนึ่งถ่ายเมื่อเปิด "ไมโครโปรเซสเซอร์"

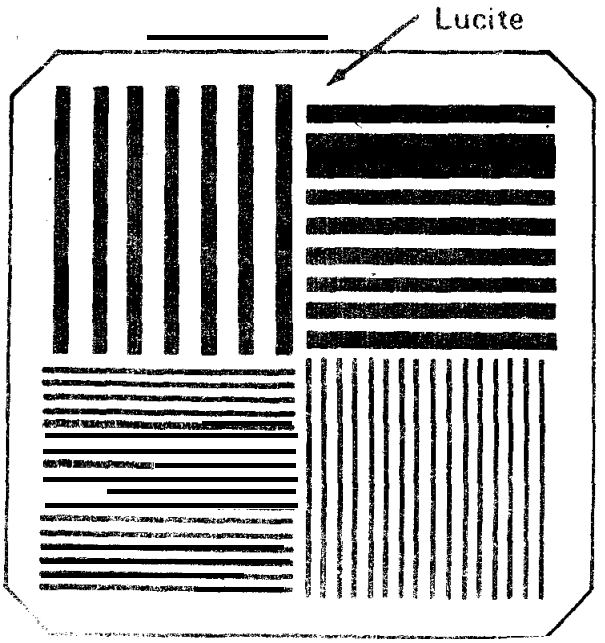
สเปเชียลเรโซลูชัน (อินทรินสิค)

เนื่องจากการวัดค่า MTF และ FWHM โดยปฏิบัติการทดลองซึ่งจัดเป็นดัชนีของสเปเชียลเรโซลูชันนั้น

ใช้เวลานาน จึงนิยมใช้วิธีกึ่งปริมาณ โดยใช้ "บาร์แฟนธอม" (bar phantom) แฟนธอมประกอบด้วยแท่งตะกั่วอยู่ในแนวขนานกัน 4 แท่ง และถูกจัดให้อยู่ใน 4 ควอดแดรนต์ ภายในที่ยึดซึ่งทำด้วยลูไซต์ดังแสดงในรูป 12 –12 ช่วงห่างและความกว้างของแท่งตะกั่วจะแปรค่าไปในแต่ละควอดแดรนต์ แต่ภายในหนึ่งควอดแดรนต์บรรดาแท่งตะกั่วจะมีช่วงห่างและความกว้างเท่ากันเสมอ ช่วงกว้างที่แคบที่สุด (ควอดแดรนต์ที่มีแนวเส้นถี่ที่สุด, ผู้แปล) จะมีขนาดแคบกว่า สเปเชียลเรโซลูชันของซินทิลเลชันคาเมรา (หมายความว่าซินทิลเลชันคาเมราไม่สามารถแยกความแตกต่างของค่าพลังงานที่อยู่ในควอดแดรนต์นี้, ผู้แปล) วิธีการประเมินอินทรินสิคสเปเชียลเรโซลูชันจะเป็นเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบฟิลด์ยูนิฟอร์มิตี (ขั้น 1 –5) ยกเว้นขั้นตอนในข้อ 1 คือ หลังจากคอลลิเมเตอร์ บาร์แฟนธอมจะถูกวางชิดกับผิวหน้าของผลึกของซินทิลเลชันคาเมรา ภาพที่ได้จะใช้ในการตรวจสอบการแยกช่วงห่างที่น้อยที่สุดระหว่างแท่งตะกั่วเช่นเดียวกับลิเนียร์ริตีของแท่งตะกั่ว

เรคทิลิเนียร์สแกนเนอร์

พารามิเตอร์ที่นิยมใช้แสดงลักษณะการทำงานของเรคทิลิเนียร์สแกนเนอร์คือการสร้างพีค ซึ่งในกรณีนี้พีคถูกสร้างโดยเรตมีเตอร์ (ratemeter) บนเรคทิลิเนียร์สแกนเนอร์ (บนเรคทิลิเนียร์สแกนเนอร์ไม่มีปุ่มที่จะปรับเป็นการสร้างสเปคตรัม) การเคลื่อนค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงให้มีค่าสูงและต่ำไปจากเดิมเล็กน้อย สามารถทราบได้ว่าเรตมีเตอร์อื่นที่อาจถูกตรวจสอบเป็นงวด ๆ ได้แก่ เรโซลูชันพลังงาน ความถูกต้องของความเร็วในการสแกน (speed) ยูนิฟอร์มิตีของช่วงทำงานระหว่างบรรทัด และการปรับความเข้มของแสง (optical density normalization) (การปรับตั้งค่าบริเวณ "ฮอต" (hot spot)



รูป 12-12 แฟนธอมซึ่งใช้ควบคุมคุณภาพของเรโซลูชันสเปเชียลของซินทิลเลชันคาเมราซึ่งมีลักษณะเป็นควอดแดรนต์ 90 องศา แท่งตะกั่วเรียงขนานกันอยู่