

บทที่ ๙ การวัดรังสีแบบ อิน-วิโตร

ในการตรวจวินิจฉัยโรค โดยเทคนิคเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เช่น Schilling test การหาค่า blood volume การศึกษาการดูดกลืนโปรตีนและไอกัมมัน การศึกษา ferrokinetics และเรดิโออิมูโนแอสเสซ์ (radioimmunoassays) ต่าง ๆ เป็นต้น ล้วนจำเป็นต้องหาปริมาณกัมมันตภาพรังสี ในตัวอย่างที่ต้องการศึกษา เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน การทดสอบดังกล่าวอาจมีข้อบ่งบอกว่า ตัวอย่างที่ได้มาไม่ถูกต้อง เช่น Schilling test ที่คนไข้ได้รับสารรังสีแต่ส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในกระเพาะอาหาร หรือลำไส้ ทำให้ต้องหักห้ามใจ แต่หากต้องการทราบว่าตัวอย่างที่ได้มา ยังคงอยู่ในกระเพาะอาหาร หรือลำไส้ ต้องใช้เทคนิคเรดิโออิมูโนแอสเสซ์ ต่าง ๆ นั้นคนไข้ไม่ต้องได้รับสารรังสีเลย อย่างไรก็ตาม ทั้งสองกรณีดังกล่าว มีจุดสำคัญเด่น เช่นเดียวกัน ได้แก่ การตัดสินใจเลือกใช้หัววัดรังสี และการจัดลักษณะเรขาคณิต (geometry) ในการวัดตัวอย่างกัมมันตภาพรังสี ซึ่งปัจจุบันได้จากการผลิตของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ ความไว ของการจัดสำหรับแต่ละกรณี การที่ประสิทธิภาพแพลทฟอร์มเพิ่มขึ้น จะช่วยในการลดโอกาสผิดพลาดได้มากขึ้น ให้หัววัดเวลาที่ใช้นับวัดโดยมี standard deviation error ตามกำหนด

บทนี้จะอธิบายถึงเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจหา กัมมันตภาพรังสีแบบ อิน-วิโตร (in-vitro) ของนิวเคลียลรังสีที่เปล่งทั้งรังสีเบตา (β -ray) และรังสีแคมนา (γ -ray)

ค่าประสิทธิภาพแพลทฟอร์ม (E) :

ในการวัดกัมมันตภาพรังสีนั้น ค่าประสิทธิภาพแพลทฟอร์ม ขึ้นกับประสิทธิภาพจีโอมตรี ในการจัดระบบ เซิร์ฟิลิกัต (E_s) และประสิทธิภาพของหัววัดเอง (E_i) หรือเรียกทั้งหมดว่า intrinsic efficiency คือ ความสามารถในการสัมผัต์ได้ดังนี้

$$E = E_s \times E_i$$

intrinsic efficiency: เป็นประสิทธิภาพภายในของหัววัด (E_i) (ดูบทที่ 8)

ถูกนิยามเป็น :

$$E_i = \frac{\text{ปริมาณรังสีที่หัวบันทึกได้}}{\text{ปริมาณรังสีที่ตกกระทบปริมาตรที่มีความไวของหัววัด}}$$

องค์ประกอบที่มีผลต่อค่า E_i ได้แก่ สัมประสิทธิ์ของการลดทอนพลังงานเชิงเส้น คือ μ (linear) ของสารหรือวัสดุซึ่งใช้สร้างหัววัด

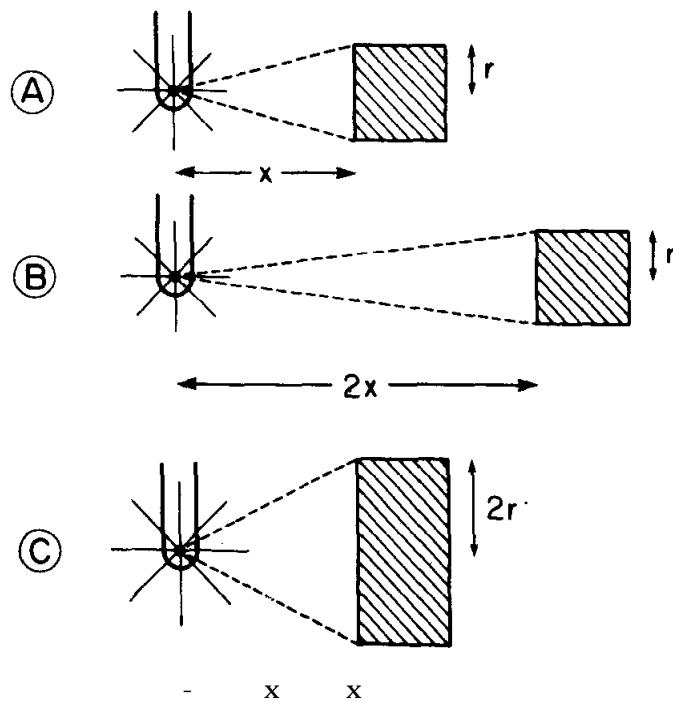
สำหรับเครื่องนับวัดแบบชินทิลเลชัน ตัวเจาะจะเฉพาะไฟฟิลพิกเพียงอย่างเดียว จะตีกว่ามหมาย intrinsic efficiency เป็น photopeak efficiency

ประสิทธิภาพจีโอมตรีย์ :

(ค่าของ E_g นั้นเกี่ยวข้องกับการจัดลักษณะเรขาคณิตของระบบ ได้แก่ ตัวอย่างกับหัววัด เป็นต้น, ผู้แปล) รูป 9-1A แสดงตัวอย่างซึ่งมีสารประกอบกัมมันตรังสีปริมาณน้อย ๆ อยู่ห่างจากหัววัดเป็นระยะ x โดยหัววัดมีรัศมีภาคตัดขวางเป็น r กรณีนี้ไม่มีการบังคับทิศทางของรังสี ซึ่งมันจะกระจายออกได้ทุกทิศทุกทาง ในโอกาสเท่ากัน ดังนั้น จะมีเพียงบางส่วนของรังสี (α, β, γ) เท่านั้น ที่วิ่งตรงเข้าสู่หัววัด geometric efficiency หรือ E_g จึงถูกนิยามเป็นอัตราส่วนของปริมาณรังสีทั้งหมดที่สารตัวอย่างเปล่งออกมา

$$E_g = \frac{\text{ปริมาณรังสีทั้งหมดที่หัววัด}}{\text{ปริมาณรังสีทั้งหมดที่สารตัวอย่างเปล่งออกมา}}$$

สำหรับกรณีรูป 9-1A นั้น E_g ขึ้นกับ 2 องค์ประกอบดังนี้



รูป 9-1 การเปรียบของประสิทธิภาพจีโอมตริกของหัววัดรังสีหัวเดียว ต้นกำนิดรังสีทำการเปล่งรังสีออกทุกทิศทุกทาง เนื่องรังสีที่มีแนวทางเดินอยู่ในขอบเขตเดือนที่จะเข้าสู่หัววัดได้ ประสิทธิภาพจีโอมตริกหมายถึงการวัดจำนวนรังสี แทนมาซึ่งเข้าสู่หัววัดขึ้นกับระยะทาง X ซึ่งเป็นระยะระหว่างต้นกำนิดและหัววัดรังสี และรัศมีของหัววัด ตามลักษณะ $1/x^2$ และ r^2 ดังนั้น ประสิทธิภาพจีโอมตริกในภาพ (B) จะมีค่าเป็น $1/4$ ของภาพ (A) และในภาพ (C) จะมีค่าประสิทธิภาพจีโอมตริกเป็น 4 เท่าของภาพ (A) อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพจีโอมตริกดังแสดงในภาพนั้นจะมีค่าไม่เกิน 50%

(1) ระยะทางระหว่างต้นกำเนิดกัมมันตภาพรังสีและหัววัด ในรูปคือระยะ x

(2) รัศมี r ซึ่งเป็นพื้นที่หน้าตัดของหัววัด

ถ้าระยะ x มีค่ามากกว่ารัศมี r มาก ๆ ($x >> r$) ดังนั้น E_g จะเปรียบตาม $1/x^2$ และ r^2 ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น เพิ่มระยะ x เป็น 2 เท่า E_g จะมีค่าลดลง 4 เท่า (ตามรูป 9-1B) แต่ถ้ารัศมี r ของหัววัดเพิ่มเป็น 2 เท่า E_g จะเพิ่มเป็น 4 เท่า (รูป 9-1C)

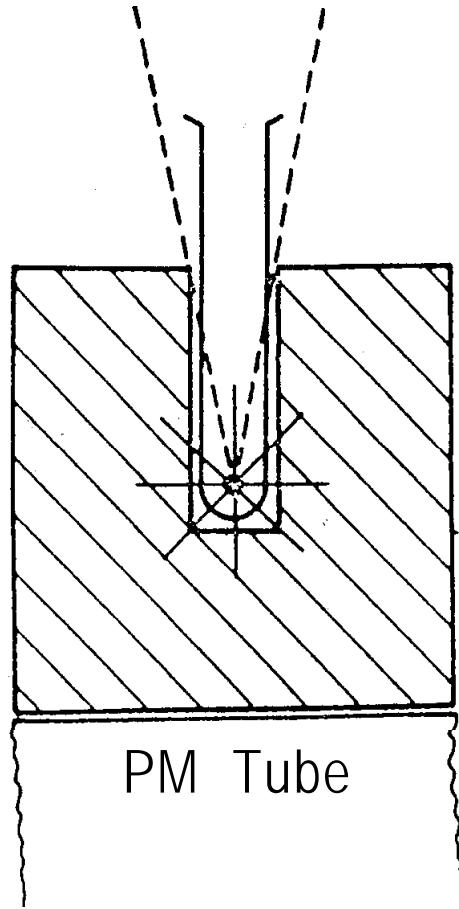
ในกรณีสารตัวอย่างอยู่ชิดกับหัววัด ซึ่งหมายความถึงระยะ x น้อยกว่า r มาก ๆ ($x << r$) ความสัมพันธ์ที่ว่า $E_g \propto 1/x^2$ ใช้ไม่ได้ geometric efficiency สำหรับค่า $x = 0$ (คือตัวอย่างอยู่ชิดกับหัววัด) มีค่าเป็น $E_g = 50\%$ เหตุผลคือจะมีรังสีคริ่งหนึ่งหลุดออกจากหัววัดได้

แต่ถ้าต้องการได้ค่าดังกล่าวมากกว่า 50% ทำโดยใช้หัววัดหลาย ๆ หัว หรืออาจติดตั้งไว้ล้อมรอบตัวอย่าง กรณีหลังคือใช้หัววัดโซเดียมไออกโซได์แบบหลุม (Well-type NaI(Tl) หรือ Well Counter) หรือ ลิกวิดชินทิล-เลชัน (liquid scintillation) ดังจะอธิบายรายละเอียดต่อไป

หัววัดชินทิลเลชันแบบหลุม :

ในเบื้องต้นการใช้งานและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์แล้ว หัววัดชินทิลเลชันแบบหลุมยังคงเหมือนหัววัดชินทิลเลชัน NaI(Tl) ดังได้อธิบายในบทที่ 8 ทุกประการ แต่มีลักษณะเป็นหลุมหรือบ่อเล็ก ๆ บางครั้งเรียกหับศพที่เป็นหัววัดแบบ “well type” หรือ “well counter” ซึ่งหลุมทรงกระบอกเล็ก ๆ เจาะอยู่ระหว่างกลางผลึกโซเดียมไออกโซได์นั้นเพื่อเป็นที่วางตัวอย่างกัมมันตراجส์ได้ชิดกับศูนย์กลางของผลึกมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังแสดงในรูป 9-2 ลักษณะเช่นนี้ จะมีเพียงบางส่วนของรังสีสูญเสียไปซึ่งเล็กน้อย (< 5%) หรือกล่าวได้ว่า E_g ประมาณ 95% คือ intrinsic efficiency ของหัววัดนี้กับขนาดของผลึก และจะมีค่าสูงตามขนาดที่ใหญ่ขึ้นของผลึก ขนาดมาตรฐานของหัววัด ชินทิลเลชันแบบหลุมคือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 นิ้ว สูง 2 นิ้ว โดยรูมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 นิ้ว และลึก 1.5 นิ้ว แต่ถ้ารังสีเกณฑ์มีพลังงานมากกว่า 500 keV มักใช้หัววัดขนาด $3'' \times 3''$ มากกว่า ตาราง 9-1 ได้เสนอค่า intrinsic efficiency ของหัววัดแบบหลุมขนาด $3'' \times 3''$ เมื่อรังสีเกณฑ์มีพลังงานแปรไป เปรียบเทียบกับขนาดมาตรฐานดังกล่าว ข้อสังเกตคือในคอลัมน์ที่ 2 และ 3 เมื่อพลังงานเกณฑ์สูง ๆ จะได้ค่า intrinsic efficiency จากหัววัดขนาด $3'' \times 3''$ สูงมากกว่าขนาดมาตรฐานประมาณ 1.5 เท่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีนับกัมมันตภาพรังสีได้ ๆ นั้น นักสนใจเฉพาะค่านับวัดของไฟโตฟีค (ไม่รวมค่านับวัดจากคอมป์เต้นเฟฟคท์) ซึ่งหัววัดขนาด $3'' \times 3''$ จะได้เปรียบกว่าสำหรับกรณีพลังงานเกณฑ์สูง ๆ (ดูคอลัมน์ 4 และ 5 ในตาราง 9-1)

ค่าของประสิทธิภาพลัพธ์สามารถคำนวณได้โดยวิธีง่าย ๆ (คือผลคูณของ intrinsic efficiency และ geometric efficiency, ผู้แปล) ตัวอย่างเช่น รังสีเกณฑ์มีพลังงาน 140 keV จากตาราง (9-1) สำหรับหัววัดแบบหลุมขนาดมาตรฐาน จะมีค่า intrinsic efficiency เป็น 0.94 ส่วน geometric efficiency ได้จากการคาดคะเนว่า



รูป ๙-๒ ประสิทธิภาพจีโอมคริกของหัววัดแบบหลุมรังสีที่สูญเสียไปมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้น คือในแนวเส้นประ การจัดลักษณะนี้ จะมีค่าประสิทธิภาพจีโอมคริกประมาณ ๙๕%

สารตัวอย่างปริมาตรน้อย ($< 1 \text{ ml}$) มีค่า geometric efficiency เป็น ๐.๙๕ นั่นคือ ประสิทธิภาพลัพธ์มีค่า เป็น $0.94 \times 0.95 = 0.89$ (หรือ ๘๙%) (สำหรับประสิทธิภาพ ณ โฟโตพีกต้องอ่านค่าจาก ตาราง (๙-๑) ในคอลัมน์ที่ ๔ แล้วที่ ๒ ซึ่งมีค่าเป็น ๐.๘๘, ผู้แปล) ค่าประสิทธิภาพลัพธ์ของโฟโตพีก คือ $0.95 \times 0.88 = 0.84$ (หรือ ๘๔%) การนำค่าของประสิทธิภาพลัพธ์ไปใช้ประวิชน์นั้น ได้แก่การคำนวณหาอัตราณับวัดรังสี ตัวอย่าง เช่น $^{99m}\text{Tc} 1 \mu\text{Ci}$ จะเปล่งรังสีเกنمมาทั้งหมดเป็นปริมาณ $3.7 \times 10^4 \times 0.88$ ตัวต่อวินาที ซึ่งแต่ละเกنمมามีพลังงาน ๑๔๐ keV ค่า ๐.๘๘ เป็นจำนวนของรังสีเกนมมา ๑๔๐ keV ต่อการสลายตัวของ ^{99m}Tc ซึ่งถ้าขอนกลับไปพิจารณา บทที่ ๒ (ภายใต้หัวข้อ “Decay Scheme”) ค่าดังกล่าวคือ n_i ดังนั้นหัววัดแบบหลุมซึ่งมีขนาดมาตรฐานจะ สามารถสร้างอัตราณับวัด ณ โฟโตพีกเป็น $(3.7 \times 10^4 \times 0.88) \times (0.84)$ ซึ่ง ๐.๘๔ เป็นค่าประสิทธิภาพ ณ โฟโตพีก กล่าวคือ

$$\begin{aligned}
 \text{อัตราณับวัด ณ โฟโตพีก} &= 3.7 \times 10^4 \times 0.88 \times 0.84 \text{ counts/sec} \\
 &= 2.73 \times 10^4 \text{ counts/sec} \\
 &= 1.6 \times 10^6 \text{ counts/min}
 \end{aligned}$$

ตาราง 9-1 ประสิทธิภาพของหัววัดแบบหลุม

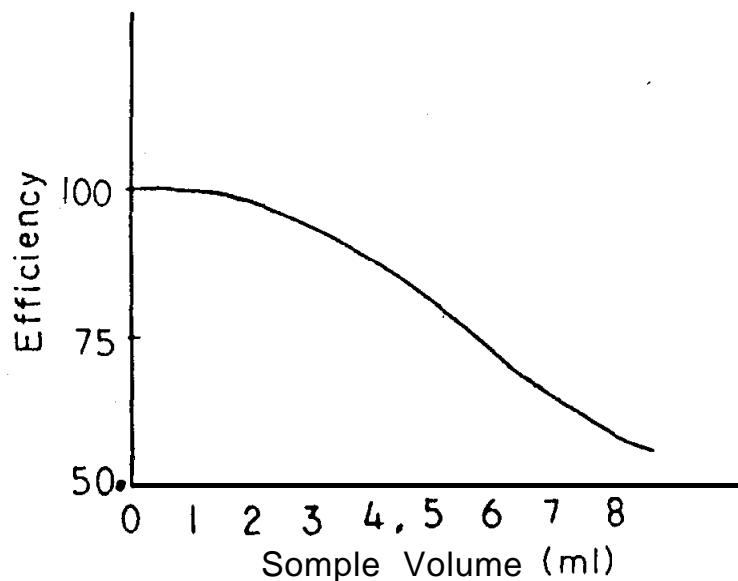
Energy keV	Intrinsic		Efficiency $3'' \times 3''$ Well	Photopeak Standard	Efficiency $3'' \times 3''$ Well
	Standard	Well			
80	97*	98*	97	97	98*
140	94	98	88	88	96
280	61	80	49	49	70
320	51	73	36	36	59
360	48	68	31	31	50
410	43	66	24	24	45
510	38	59	17	17	36
660	32	51	12	12	25
880	29	46	8	8	17
1110	20	45	7	7	16
1170	25	42	6	6	15
1270	24	40	5	5	14

* การลดทอนพลังงานในค่าว่ายางและอุปกรณ์จะลดปริมาณไปจากนี้เล็กน้อย

ในการคำนวณดังกล่าวแล้วนั้น ไม่รวมผลจากการดูดกลืน ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในหลายตัวกลาง
ดังนี้

- (1) กล่องอลูมิเนียม ซึ่งเป็นภาชนะห่อหุ้มผลึก
- (2) สารละลาย
- (3) ผนังของหลอดทดลอง ซึ่งเป็นภาชนะบรรจุตัวอย่าง

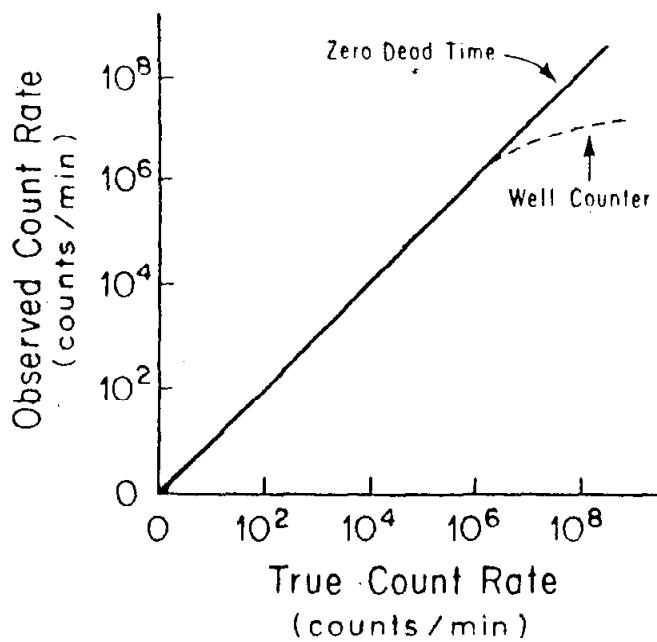
สรุปได้ว่า ในทางปฏิบัติ จะได้อัตราనับวัตถุน้อยกว่าค่าจากการคำนวณเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ปัจจัยต่อไปนี้จะมีผลต่อการตรวจวัด ^{99m}Tc ของหัววัดแบบหลุมที่มีค่าเป็น 16 counts/min สำหรับกันน้ำตากพรั่งสี 10 picocuries



รูป 9-3 ประสิทธิภาพแพทช์หรือจีโอมetrิกของหัววัดแบบหลุมพล็อกเป็นฟังก์ชันของปริมาตรสารตัวอย่าง (โดยมีปริมาณกันน้ำตากพรั่งสีคงที่)

($10^{-5} \mu\text{Ci}$) โดยหัววัดมีประสิทธิภาพลับพื้นที่เป็น $1.6 \times 10^6 \text{ counts/min}$ ซึ่งเห็นได้ชัดว่าหัววัดมีความไว้สูง นอกจากนี้ จึงจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดยังขึ้นกับเบคกราวน์ดของห้อง และช่วงเวลาที่ทำการนับวัดอีกด้วย

รายละเอียดทั้งหมดที่ได้เสนอมาแล้วข้างต้นนั้น เป็นกรณีตัวอย่างที่มีปริมาตรเล็ก ๆ ($< 1 \text{ ml}$)- ถึงที่น่าสนใจคือ ปริมาตรของตัวอย่างจะส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพลับพื้นที่ของหัววัดอย่างไร? จากการทดลอง ได้ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพลับพื้นที่กับปริมาตรของตัวอย่างดังแสดงในรูป 9-3 (ซึ่งได้รักษาให้เอกสารตัวดิจิตอล คงค่าเดิมโดยตลอด) กล่าวได้ว่าการเพิ่มปริมาตรตัวอย่างทุก ๆ 1 มิลลิลิตร จะเป็นการลดค่าประสิทธิภาพลับพื้นที่อย่างต่อเนื่อง การลดค่าจะเป็นเช่นเดียวกับ ประสิทธิภาพจีโอมเมตري ซึ่งเนื่องจากความสัมพันธ์ในสมการ (9-1) ตัวอย่าง 4 มล. จะมีค่าประสิทธิภาพลับพื้นที่เป็น 88% ของตัวอย่าง 1 มล. ดังนั้น ในทางปฏิบัติจึงนิยมใช้ตัวอย่างปริมาณน้อยกว่า 2 มล.



รูปที่ 9-4 ผลค่าของเดดไทม์ของหัววัดชนิดโลหะ

ทราบมีเตอร์อินที่สำคัญต่อหัววัดแบบหลุมคือ ค่า “dead time” ซึ่งขึ้นเป็นขีดจำกัดสูงสุดของปริมาณกัมมันตภาพรังสีที่สามารถทำการนับวัดได้ ทั้งนี้ถือว่าการสูญเสียค่านับวัด (ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้) มีค่าน้อยกว่า 5% รูป 9-4 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราการนับวัดเท็จจริงกับอัตราที่ตรวจวัดได้จากหัววัดแบบหลุมในทางปฏิบัติ ใช้ค่านับวัดต่ำกว่า 10^6 counts/min . เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียอัตราการนับวัดเนื่องจาก “dead time” ซึ่งสมนัยกับปริมาณนิวเคลียลคลอรังสีที่ใช้เป็นส่วนมากในเวชศาสตร์นิวเคลียร์ เช่น ^{131}I หรือ ^{99m}Tc $1 \mu\text{Ci}$ ดังนั้น สรุปได้ว่า ถ้าจะทำการนับวัดกัมมันตภาพรังสีสูงกว่า $1 \mu\text{Ci}$ จะต้องคำนึงถึงอัตราการนับวัดที่สูญเสียไปเนื่องจากค่า “dead time” ซึ่งวิธีการง่าย ๆ ที่จะแก้การสูญเสียดังกล่าวคือทำการเรียงสารตัวอย่างลง หรือใช้สารตัวอย่าง

ปริมาณเล็กน้อย ถ้าจะแก้ที่ลักษณะการจัด geometry อาจทำการนับวัดภายนอกหลุม (วิธีหลังนี้ไม่นิยมนัก, ผู้แปล)

เครื่องนับวัดลิขิตชนิดเดชัน :

เนื่องจากในร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน คาร์บอน ในไตรเจน อออกซิเจน ฟอสฟอรัส และ กำมะถัน รวมกันแล้วมากกว่า 97% ของน้ำหนักทั้งหมดของร่างกายเรา จึงมีการสนใจใช้ไอโซโทปปรังสีของธาตุเหล่านั้นทั้งในกรณีงานวิจัยและคลินิก นอกจากนี้ ไอโซโทปปรังสีเหล่านั้นยังมีข่ายในท้องตลาด ค่าครึ่งชีวิต ยาวนานเหมาะสมสำหรับงานประจำ แต่ที่มีใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันได้แก่ ^3H , ^{14}C , ^{32}P และ ^{35}S นิวโคล์ด รังสีดังกล่าวเป็นลูปเฉพาะรังสีเบตา (β) เท่านั้น ไม่มีรังสีเอ็กซ์หรือแกรมมาในการตรวจอุณหภูมิประจำ (ได้แก่อนุภาคเบตา กอนเวิร์สชันอิเล็กตรอน (conversion electron) หรืออนุภาคอัลฟ่า) นั้นยุ่งยากซับซ้อนกว่า การตรวจรังสีเอ็กซ์หรือแกรมมา เนื่องจากอนุหภูมิประจำมีค่าพิสัยสั้นในตัวกลางของแข็งและของเหลว จึงอาจมีการสูญเสียอัตราณับวัดขึ้นได้เนื่องจากเกิดการดูดกลืนภายในสารตัวอย่างเองและภายในผนังหรือหน้าต่าง ของหัววัดก่อนที่จะทำการนับวัดได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ จำเป็นต้องใช้ตัวอย่างที่มีลักษณะบางร่วมกับหัววัด ที่มีหน้าต่างบาง (thin window) และได้เกิดแนวความคิดที่จะผสมหัววัดให้อยู่ภายนอกปริมาตรเดียวกับวัตถุ ซึ่งในทางปฏิบัติคือ เครื่องนับวัดลิขิตชนิดเดชันนั่นเอง จุดประสงค์หลักคือเพื่อนับวัดอนุภาคเบตา และอนุหภูมิประจำอ่อน ๆ ที่มีความแรงกันมั่นคงพรังสีไม่นานนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากต้นกำนันด ^3H และ ^{14}C การใช้ลิขิตชนิดเดชัน ง่ายและสะดวก ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมแพร่หลายทั่วไป

ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องมือ

เครื่องมือนี้แยกส่วนประกอบที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

(1) ขวดสารตัวอย่างที่ต้องการนับวัด

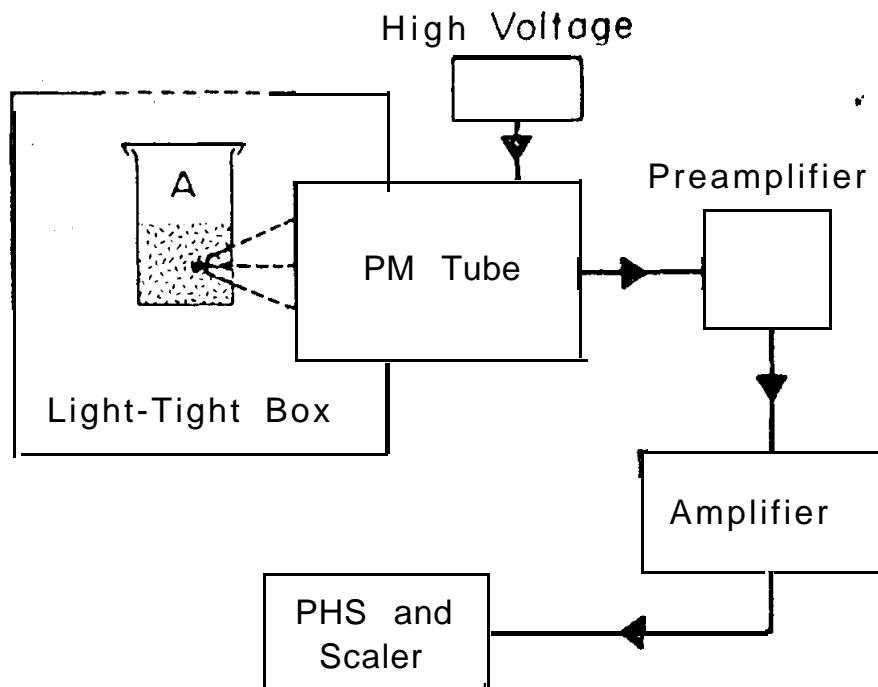
(2) หลอดไฟโตแมลลิไฟลเออร์ รวมทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ร่วมกัน (พิจารณาป 8 - 5) และแสดงแผนผังในรูป 9 - 5 รายละเอียดของหลอด PM ได้เสนอแล้วในบทที่ 8 ดังนั้น จึงพิจารณาเฉพาะส่วนที่ (1) เท่านั้น ขวด (vial) ที่ใช้บรรจุสารตัวอย่างซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี นอกจากนี้ ยังต้องประกอบด้วยชนิดเดชอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปล่งแสง ทั้งสองส่วนดังกล่าวจะต้องละลายเป็นเนื้อเดียวกันตัวทำละลาย ซึ่งเป็นคล้ายหัวกลาง ร่วม เพื่อประกอบเป็นสารละลายที่ปราศจากสี ไม่เลกูลของตัวเปล่งแสงจะทำหน้าที่เป็นหัววัด ดังนั้นภายนอกเนื้อของสารละลายดังกล่าวจะต้องมีการผสมผสานเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งนำไปสู่ข้อได้เปรียบ 2 ประการ ดังนี้

(1) อะตอนรังสีของสารตัวอย่างย่อมถูกล้อมรอบด้วยไม่เลกูลของตัวเปล่งแสง หรือชนิดเดชอร์ จึงกล่าวได้ว่า geometric efficiency มีค่าใกล้เคียง 100%

(2) การสูญเสียพลังงานเบتا จะมีโอกาสเกิดได้น้อยมาก เนื่องจากสารที่อาจขัดขวางการเดินทาง

ของอนุภาคเบตานั้นมีอยู่น้อยมาก โดยทั่วไป จะเป็นโนเลกูลของตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งยังจะมีส่วนช่วยส่งผ่านพลังงานเบتاไปยังชิ้นทิลเลเตอร์ได้ดีขึ้น

ปฏิกริยาของอนุภาคเบต้า (β) กับชิ้นทิลเลเตอร์ (ภายในปริมาตรซึ่งประกอบกันเป็นสารละลาย)



รูป ๙-๕ ผังแสดงส่วนประกอบการทำงานของหัววัดลิขิติลเลเซ่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้นั้นเป็นชิ้นเดียวทั้งหมด คือ หัววัดลิขิติลเลเซ่น NaI(Tl) อย่างไรก็ตาม สำหรับเครื่องนับวัดลิขิติลเลเซ่นนั้นมีสารตัวอย่างรังสีและตัวเปลี่ยนแปลงสมบัติอยู่โดยมีตัวทำละลายเป็นส่วนช่วย ทั้งสามตัวอย่างนี้ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะตัวอย่าง (A)

ส่วนผลให้เกิดการสูญเสียพลังงาน ซึ่งจะถูกแปลงเป็นแสงโดยโนเลกูลของชิ้นทิลเลเตอร์ ปริมาณแสงดังกล่าวจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกรณีโซเดียมไอกาโนไดค์ (ซึ่งถูกโอดีปด้วยชัลเดียม) เนื่องจากรังสีเบต้า (β) มีพิสัยสั้นในของเหลว และซึ่งถ่ายทอดพลังงานทั้งหมดให้กับสารละลาย ดังนั้น ปริมาณแสงที่ถูกผลิตจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีเบต้า ขั้นต่อไปคือหลอด PM จะทำการผลิตสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่สัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณแสงที่ตัดกรายหบ ลงบนหลอด PM สรุปได้ว่า สัญญาณแรงดันไฟฟ้าดังกล่าวเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีเบต้า จากการใช้เทคนิคของการวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณ ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์สภาพร้ายของรังสีเบต้า จากสองนิวเคลียลรังสีได้ในเวลาเดียวกัน เช่น ${}^3\text{H}$ และ ${}^{14}\text{C}$

ขาดสารตัวอย่างและหลอด PM จะติดตั้งอยู่ภายในปริมาตรปิด เพื่อป้องกันแสงจากภายนอกรอบกวนหรือเข้าสู่หลอด PM เครื่องวัดลิขิติลเลเซ่นในยุคปัจจุบันมักจะมีหลอด PM 2 หลอดและต้องประกอบด้วยวงจรโคインซidenซ์ (coincidence circuit) ซึ่งทำหน้าที่ลดแบบการวนซ้ำได้ส่วนหนึ่ง กล่าวในทางกลับกันก็คือเป็นตัวช่วยเพิ่มความไวของระบบ

การเตรียมอุปกรณ์เพื่อใช้ประกอบกับสารตัวอย่าง :

ปัญหาหลักของวิธีการใช้เครื่องวัดลิติกซินทิลเลชัน คือการเตรียมสารละลายที่จะใช้ควบคู่กับสารตัวอย่าง ต้องตัดสินใจเลือกซินทิลเลเตอร์ และตัวทำละลาย (solvent) ให้เหมาะสม

การเลือกซินทิลเลเตอร์ :

คุณสมบัติที่ดีของซินทิลเลเตอร์ คือต้องมีประสิทธิภาพสูงในการเปล่งแสง ละลายเป็นเนื้อเดียวกับตัวทำละลายและมีสถานะทางเคมีเสถียรภายใต้สภาวะแวดล้อมซึ่งอาจแปรค่า (เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ความกว้าง) ซินทิลเลเตอร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ 2,5-diphenyloxazole (PPO), p-terphenyl และ 2,5-bis(5-t-butylbenzoxazolyl) Thiophene (BBOT) โดยทั่วไป มักมีการเติมซินทิลเลเตอร์ทุกติดภูมิลงในสารละลายด้วยเสมอ จุดประสงค์เพื่อให้ทำหน้าที่ขยายความยาวคลื่นแสง ตัวอย่างเช่น ซินทิลเลเตอร์ปัจจุบันอาจเปล่งแสงออกมานิ่งสั้น (อาจเป็นแสง UV หรือนิ่ง) แต่ซินทิลเลเตอร์ทุกติดภูมิจะดูดกลืนแสงดังกล่าวไว้ จากนั้นเปล่งแสงซึ่งมีความยาวช่วงคลื่นมากกว่าออกมานา (ได้แก่ สีน้ำเงิน เงียว หรือ เหลือง เป็นต้น) ซึ่งลด PM จะตรวจวัดได้ยากกว่า และสารประกอบที่รู้จักกันทั่วไปคือ 1,4-bis(5-phenyloxazolyl)-benzene (POPOP)

การเลือกตัวทำละลาย :

ในการเลือกตัวทำละลายต้องคำนึงถึง

- (1) ตัวทำละลายต้องมีประสิทธิภาพสูงในการส่งผ่านพลังงานให้กับโมเลกุลของซินทิลเลเตอร์
- (2) ตัวทำละลายต้องมีคุณสมบัติโปร่งแสงสำหรับแสงที่เกิดจากซินทิลเลเตอร์
- (3) ตัวทำละลายควรละลายสารประกอบได้ทุกชนิดและทุกอุณหภูมิ โดยทั่วไปมักใช้ตัวทำละลาย โทลูอีน (Toluene) ชั้ยลีน (Xylene) และ ไดอีอกเซน (Dioxane)

ปัญหาในการเตรียมสารตัวอย่าง :

หลังจากได้ทำการเลือกตัวซินทิลเลเตอร์และตัวทำละลายแล้ว ต้องพิจารณาการเตรียมสารตัวอย่างด้วย โดยทั่วไป ตัวอย่างมักเป็นเนื้อเยื่อชีวภาพ จึงต้องมีการเตรียมเพื่อให้ปราศจากสี และละลายได้ดี ในสารละลายซินทิลเลเตอร์ ในทางปฏิบัติ ทำโดยย่อยเนื้อเยื่อดังกล่าวในตัวทำละลาย เช่น ชัยามีน (hyamine) ซึ่งเป็น quaternary amine หรือใช้เทคนิคการสันดาป (combustion) และออกซิเดชัน (oxidation) เพื่อผลิต $^{14}\text{CO}_2$, $^3\text{H}_2\text{O}$ และ $^3\text{SO}_2$ ซึ่งง่ายที่จะถูกดูดกลืนหรือละลายในสารละลายซินทิลเลเตอร์ ถ้าพิจารณาแผน ๆ จะเห็นว่าการใช้ชัยามีนง่าย และสะดวกกว่าวิธีอื่น ๆ แต่ปัญหาตามมา คือ ปรากฏการณ์บังแสงในระบบันบันดัน ซึ่งเรียกชื่อเป็น “ควบคุมชิง” (quenching)

เกณฑ์ :

เกณฑ์ หมายถึงขบวนการใด ๆ ที่ขัดขวางหรือรบกวนการผลิตหรือส่งผ่านแสงจากขวดสารตัวอย่าง แยกประเภทของเกณฑ์ตามด้านกำหนดได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) เกณฑ์สี

(2) เกณฑ์แบบเคมี

กรณีเกณฑ์แบบเคมี สาเหตุคือเกิดมีสารเคมีอื่นในปริมาณน้อย ๆ (ซึ่งโดยทั่วไปมักปรากฏในเนื้อเยื่อ หรือในตัวอย่างชีวภาพ) สารดังกล่าวจะขัดขวางการส่งผ่านพลังงานเบตาไปยังโมเลกุลของชนิดทิลเดเตอร์ กลไกของการขัดขวางดังกล่าวอธิบายได้คือ ในสารละลายของระบบลิขิติลเดชัน จะประกอบด้วยสารเคมีอายุสั้น ๆ เรียกว่าเป็น “เรดิคอล” (radical) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านพลังงานเบตาไปยังโมเลกุลของชนิดทิลเดเตอร์ สำหรับกรณีมีสารเคมีต้นเหตุเกณฑ์จะเป็นอยู่ในสารละลาย อาจเป็นไปได้ว่าสารเคมีดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับเรดิคอล แต่จะเป็นลักษณะที่ไม่มีการผลิตแสงได้ ดังนั้นสรุปได้ว่าปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นการลดจำนวนแสงนั้นเอง สำหรับเกณฑ์สี เกิดจากการปรากฏสารต่าง ๆ ที่มีสีปะปนอยู่ในสารตัวอย่าง สารดังกล่าวจะดูคลื่นแสงที่ผลิตจากกัมมันตรังสี จึงเป็นการลดแสงที่จะส่งไปยังหลอด PM

การบดบังแสงทั้งสองกรณี จะก่อให้ประสิทธิภาพลัพธ์ของระบบันบัดดลง และในแต่ละขวดตัวอย่าง จะมีการลดประสิทธิภาพไม่เท่ากัน ขึ้นกับดีกรีของเกณฑ์ที่ปรากฏอยู่ ในทางปฏิบัติต้องคำนึงถึงสาเหตุและหาค่าแก้สำหรับกรณีดังกล่าว วิธีการที่นิยมใช้คือทำการนับวัด 2 รอบ โดยรอบแรกทำการนับวัดตัวอย่างทุกขวดจนครบ จากนั้นเติมสารกัมมันตภาพรังสีที่ทราบความแรงลงในแต่ละขวดตัวอย่าง แล้วจึงทำการนับวัด เป็นรอบที่ 2 เรียกวิธีการนี้ว่า “internal standard” นอกจากนี้อาจใช้วิธี “channel ratio method” หรือวิธี “external standard” แต่จะไม่กล่าวรายละเอียด ณ ที่นี่

โฟโตคูมินิเนสเซนส์และเคมีคูมินิเนสเซนส์ :

ขบวนการบดบังแสงในลิขิติลเดชัน นอกเหนือจากเกณฑ์คือ “โฟโตคูมินิเนสเซนส์” และ “เคมีคูมินิเนสเซนส์” สาเหตุของปัญหาตรงข้ามกับกรณีของเกณฑ์ กล่าวคือ โฟโตคูมินิเนสเซนส์เป็นปรากฏการณ์เปล่งแสงของโมเลกุลบางชนิดที่มีคุณสมบัติในการดูดคลื่นแสงได้ จากนั้นจะเปล่งแสงออกมายใหม่ ณ ช่วงเวลาคล้ายไปเล็กน้อย ดังนั้น ขวดตัวอย่างจะยังคงมีแสงเปล่งออกมานิช่วงเวลาสั้น ๆ แม้จะถูกจัดวางไว้ในที่มีดีก็ตาม วิธีแก้ไขโดยวางขวดตัวอย่างทิ้งไว้ในที่มีระบายน้ำ แล้วจึงทำการนับวัดตามขั้นตอน (อาจเป็น 2 – 3 ชม. หรือมากกว่านั้นก็ได้)

ส่วนเคมีคูมินิเนสเซนส์ เป็นกรณีที่มีสารเคมี 2 ชนิดเกิดปฏิกิริยากัน และเกิดแสงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นด้วยธรรมชาติของสารเคมีทั้งสอง ตัวอย่างชีวภาพหลายชนิดที่มีอาการเคมีคูมินิเนสเซนส์เมื่อถูกผสมกับไกลอินหรือตัวทำละลายอื่น ๆ วิธีแก้ไขคือรอให้ปฏิกิริยาเคมีนี้อ่อนตัว (ซึ่งกินเวลาหลายวัน) ก่อนจะทำการนับวัด