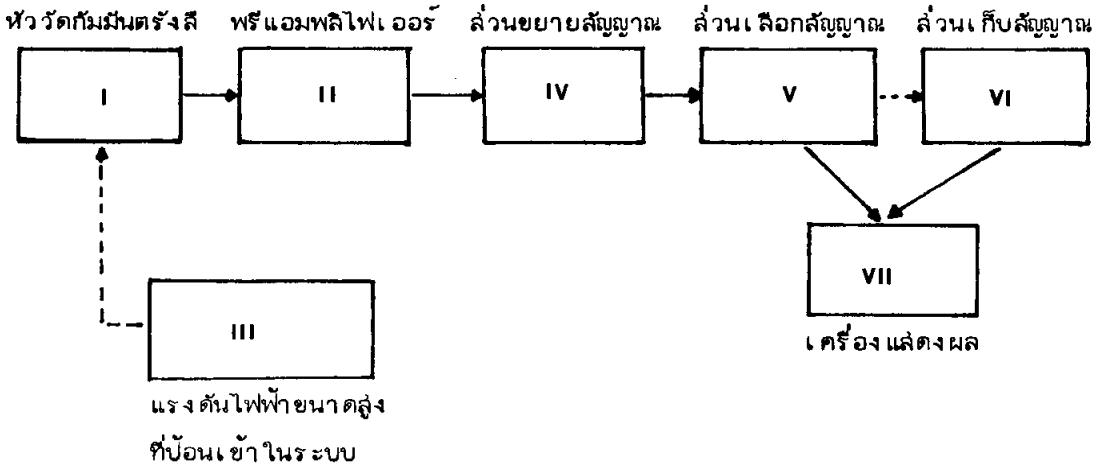
บทที่ 3

ระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลและการแสดงผล

3.1 บทนำ

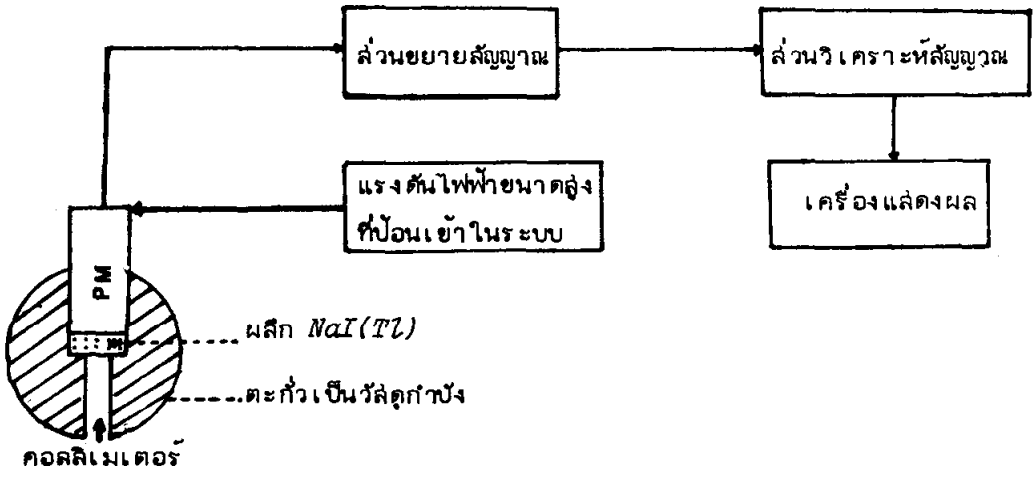
ระบบการนับวัดปริมาณกัมมันตรังสีจำเป็นต้องอาศัยส่วนประกอบต่างๆดังแสดงในรูปที่ 3.1 หัววัดกัมมันตรังสีไม่ว่าชนิดใดก็ตาม (ดังกล่าวละเอียดในบทที่แล้ว) จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาดสูง หลังจากได้มีขบวนการก่อให้เกิดสัญญาณในหัววัดกัมมันตรังสี-ขึ้นแล้ว สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งต่อไปยังส่วนขยายเพื่อให้ปริมาณไฟฟ้าถูกนับวัดได้โดยง่าย จากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังส่วนเลือกสัญญาณซึ่งประกอบด้วยตัวกำจัดสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่กำจัดสัญญาณที่มิ-ใช่เกิดจากสารกัมมันตรังสี ต่อไปคือส่วนเก็บสัญญาณ และองค์ประกอบท้ายสุดคือส่วนแสดงผล



รูป 3.1 บล็อคไดอะแกรมแสดงส่วนประกอบของระบบทั่วไปของการนับวัดกัมมันตรังสี

อย่างไรก็ตาม หลักการคิดและการสุ่มโครงสร้างของระบบการวัดดังกล่าวเป็นเพียงพื้นฐานทั่วๆไป ในหัววัดบางชนิด เช่น หัววัด *GM* มักจะมีเฉพาะส่วนที่ *III*, *IV* และ *VII* โดยขาดส่วนที่ *II* และ *VI* เป็นต้น แต่สำหรับหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำและหัววัดซินทิลเลชั่นจำเป็นต้องมีส่วนประกอบดังกล่าวแยกโดยเฉพาะ รูป 3.2 แสดงระบบของหัววัดซินทิลเลชั่นที่นิยมใช้ในสาขาเวชศาสตร์นิวเคลียร์เพื่อความถูกต้องของค่าที่นับวัด สัญญาณเอาท์พุทของหัววัดจะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า มีลักษณะสมบัติอยู่ในเทอมของแอมพลิจูด *(amplitude)* ช่วงเวลาการเกิดสัญญาณ และค่า *rise time* ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้แตกต่างกันตามชนิดของหัววัด และในบางกรณีอาจจะรวมทั้งชนิดของกัมมันตรังสีที่ทำการวัดด้วย กล่าวคือ ชนิดของกัมมันตรังสี เช่น รังสีแกมม่าหรือเบต้า และพลังงานที่ปลดปล่อยกัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆขององค์ประกอบระบบการนับวัดปริมาณกัมมันตรังสีพอสมควร เพื่อเป็นพื้นฐานในการใช้เครื่องมือต่อไป



รูป 3.2 ระบบของหัววัดแบบซินทิลเลชั่น โดยที่ส่วนทั้งสี่ที่อยู่ในกรอบมักจะรวมเป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียว

3.2 พรีแอมพลิไฟเออร์ (preamplifier)

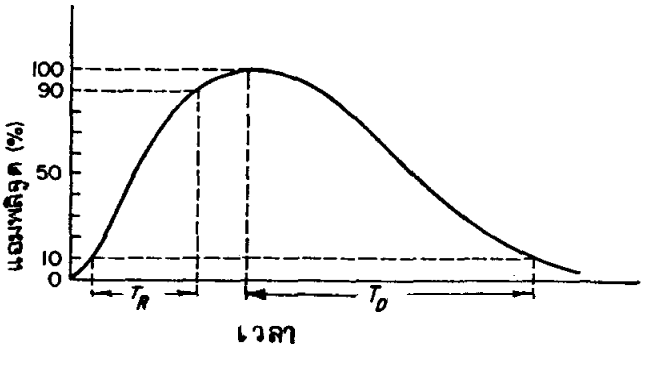
สัญญาณจากหัววัดกัมมันตรังสีที่ถูกส่งต่อไปยังส่วนขยายสัญญาณตามสายเคเบิ้ลอาจถูกรบกวน *(distort)* หรือถูกลดขนาดลงได้ นอกจากนี้หัววัดรังสีมักเป็นเครื่องมือประเภทความจุประจุต่ำแต่อิมพีแดนซ์สูง ดังนั้น จึงได้มีการเล่นอเครื่องมือที่อยู่ก่อนส่วนขยายสัญญาณเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวปรับค่าอิมพีแดนซ์ให้พอเหมาะที่จะเป็นสัญญาณ "อินพุท" ของเครื่องขยายสัญญาณและเรียกชื่อตามหน้าที่ในระบบนับวัดรังสีว่า "พรีแอมพลิไฟเออร์" *(preamplifier)* หรือ "ส่วนก่อนขยายสัญญาณ" กรณีที่หัววัดสามารถทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 10 พิโคคูลอมบ์ *(picocoulomb)* ต่อหนึ่งสัญญาณ (เมื่อต่อกับสายเคเบิ้ลสัญญาณซึ่งยาวน้อยกว่า 1 เมตร) มักจะตัดส่วนก่อนขยายสัญญาณออก

พรีแอมพลิไฟเออร์ชนิดง่ายที่สุดเรียก "แคทโธด ฟอลโลเวอร์" *(cathode follower)* ทำหน้าที่ปรับอิมพีแดนซ์ระหว่างหัววัดกับส่วนขยายสัญญาณได้ดี เนื่องจากวงจรชนิดนี้มีค่าอัตราขยาย *(gain)* น้อยกว่าหนึ่ง ("เกน" เป็นค่าอัตราส่วนแอมพลิจูดของสัญญาณขาออกกับสัญญาณขาเข้า) พรีแอมพลิไฟเออร์ได้ถูกวิวัฒนาการให้มีความไวต่อประจุ (หรือกระแส) มาก หัววัดแบบสารกึ่งตัวนำต้องใช้พรีแอมพลิไฟเออร์ที่มีความไวต่อประจุเนื่องจากความจุประจุเป็น - ฟังค์ชั่นแปรค่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ (รวมทั้งเงื่อนไขอื่นๆซึ่งอยู่ในระบบด้วย) อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาคุณสมบัติมักจะกล่าวถึง "ความไวต่อประจุ" มากกว่า "อัตราขยาย" ของพรีแอมพลิไฟเออร์ ซึ่งหมายถึงแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทอันเป็นผลจากการเกิดประจุขึ้นในหัววัดกัมมันตรังสีซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์สูง สำหรับหัววัดสารกึ่งตัวนำบางชนิดอาจมีค่าดังกล่าวเป็นมิลลิโวลต์ต่อพิโคคูลอมบ์ *(picocoulomb)* หรือมิลลิโวลต์ต่อ *MeV*

3.3 ส่วนขยายสัญญาณ (amplifier)

ส่วนขยายสัญญาณหรือเรียกทับศัพท์ภาษาอังกฤษว่า "แอมพลิไฟเออร์" *(amplifier)* ทำหน้าที่ขยายขนาดของสัญญาณที่ได้จากหัววัดกัมมันตรังสี (หรือได้จากส่วนก่อนขยายสัญญาณ) โดยที่อุปกรณ์ส่วนนี้จะต้องมีอัตราขยายมากพอที่จะทำให้ส่วนเลือกสัญญาณทำงานได้ละดวก ขณะเดียวกันต้องรักษาจุดทำงานของหัววัดให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ด้วย และอัตราขยายต้องมีค่าคงที่แม้ว่าจะมีค่ารบกวนซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า จากอุณหภูมิ หรือจากแฟคเตอร์อื่นซึ่งอาจเกิดแบบชั่วขณะหรือเกิดขึ้นเป็นเวลานานก็ตาม นอกจากนี้ ยังต้องประกอบด้วยค่าไรส์ไทม์ *(rise time)* ที่ถูกต้อง เพื่อมิให้เกิดการสูญเสียข้อมูลในการนับวัด กล่าวคือ ไรส์ไทม์ต้องมีค่าพอเหมาะ ไม่ช้าหรือเร็วจนเกินไป (ถ้าเร็วเกินไปจะทำให้ได้ค่านับวัดอันเกิดจากกัมมันตรังสีรบกวนอื่นๆนอกเหนือจากปริมาณที่ต้องการนับวัดแท้จริง

การแบ่งระดับของส่วนขยายสัญญาณมักจะพิจารณาจากความไวต่อแรงดันไฟฟ้า หรือความไวต่อประจุเช่นเดียวกับการพิจารณาส่วนก่อนขยายสัญญาณ รูป 3.3 แสดงค่าขนาดความสูงของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยขนาดความสูงของสัญญาณอาจเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท หรือกระแสเอาท์พุทที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาจำกัดค่าใดค่าหนึ่ง



รูป 3.3 รูปร่างสัญญาณ การแปรค่าของแอมพลิจูดสัญญาณตามเวลา

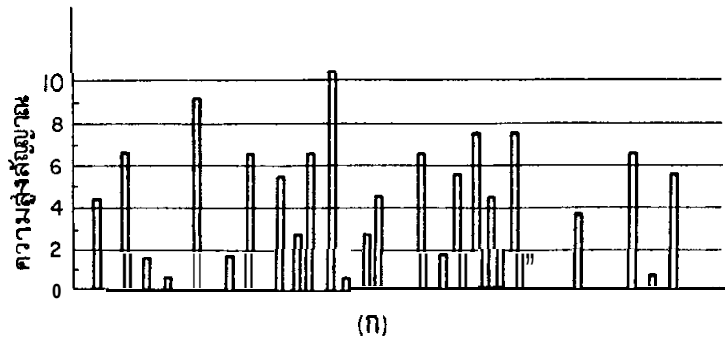
- "ไรส์ไทม์" หรือ "เวลาที่เพิ่มขึ้น" *(rise time)* หรือ T_R คือช่วงเวลาที่ความสูงของสัญญาณเริ่มเพิ่มขนาดจาก 10 % จนถึง 90 % ของค่าสูงสุด
- "เวลาการสลายตัว" *(decay time)* หรือ T_D เป็นช่วงเวลาที่สัญญาณมีขนาดลดลงจากค่าสูงสุดจนถึงค่าเพียง 10 % ของค่าสูงสุด
- "ดีเลย์ไทม์" *(delay time)* เป็นช่วงเวลาที่สัญญาณจะเพิ่มขนาดจนถึง 50 % ของค่าสูงสุด
- "ช่วงเวลาเกิดสัญญาณ" *(pulse duration)* ในทางปฏิบัติค่านี้วัดจากสัญญาณเริ่มต้นจนถึงเวลาที่สัญญาณมีค่าลดลงถึง 10 % ของค่าสูงสุด

สัญญาณเอาท์พุทของหัววัดกัมมันตรังสีอาจถูกกำหนดลักษณะสมบัติโดยช่วงเวลาการเกิดประจุ หรือช่วงเวลาการจับเก็บประจุ ไรส์ไทม์ของส่วนขยายสัญญาณควรมีค่าสั้นกว่าช่วงเวลาจับเก็บประจุของหัววัดกัมมันตรังสี หน้าที่สำคัญของส่วนขยายสัญญาณคือ

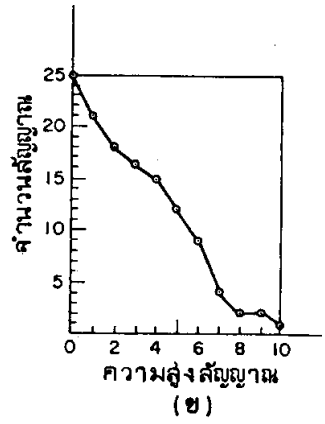
- ขยายสัญญาณ
- จัดรูปร่างสัญญาณ

3.4 ส่วนวิเคราะห์สัญญาณ (pulse height analyzer)

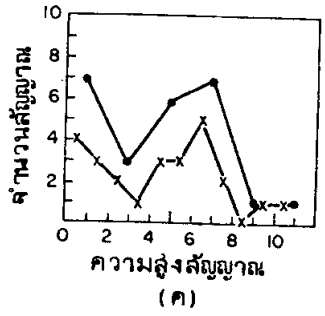
สัญญาณที่ส่งจากหัววัดกัมมันตรังสีไปยังส่วนขยาย จะถูกส่งต่อไปยังส่วนวิเคราะห์ความสูงของสัญญาณเพื่อทำการเลือกเฉพาะสัญญาณที่เกิดจากพลังงานกัมมันตรังสีที่ต้องการวัด ส่วนที่เกิดจากกัมมันตรังสีอื่นถือว่าเป็นกัมมันตรังสีรบกวนหรือที่เรียกว่า "แบ็คกราวนด์" *(background)* ซึ่งอุปกรณ์ส่วนนี้จะกำจัดออกไป ตัวอย่างดังแสดงในรูป 3.4 เป็นสัญญาณมีความสูงต่างๆ



(ก)



(ข)



(ค)

รูป 3.4 แสดงสเป็คตรัมของสัญญาณ

(ก) ส่วนขยายสัญญาณขาออก แสดงสัญญาณที่จะถูกวิเคราะห์

(ข) พล็อตแบบรวมค่าแอมพลิจูดในสเป็คตรัมของสัญญาณ

(ค) พล็อตแบบ "ดิฟเฟอร์เรนเชียล" โดยใช้ค่าแอมพลิจูดของสัญญาณเดียวกันกับข้อ (ข)

X แทนสัญญาณสูง 1 หน่วย และ แทนสัญญาณสูง 2 หน่วย

จากค่าในรูป 3.4 ก. จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณสูงกว่า 0 อยู่จำนวน 25 สูงกว่า 1 จำนวน 21 ฯลฯ ซึ่งทำการพล็อตค่าลงบนแกน xy จะได้ลักษณะกราฟดังแสดงในรูป 3.4 ข. วิธีการเช่นนี้เรียกว่าการพล็อตค่าแบบรวมหรือเรียกทับศัพท์ว่าแบบ "อินทีกรัล" *(integral)* ถ้านำค่าจากรูป 3.4 ข. ลบกันแบบจุดต่อจุด จะได้กราฟเป็นสเปคตรัมดังแสดงในรูป 3.4ค. เรียกวิธีการดังกล่าวว่าเป็นแบบ "ดิฟเฟอเรนเชียล" *(differential)* กล่าวคือ เป็นการแยกบันทึกค่าพลังงานกัมมันตรังสีที่ปรากฏอยู่ในแต่ละช่วงคลื่น โดยทั่วไป ในทางปฏิบัติมักนิยมนับวัดปริมาณกัมมันตรังสีแบบดิฟเฟอเรนเชียล แอมพลิจูดของสัญญาณแสดงถึงพลังงานกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในช่วงคลื่นขบวนหนึ่งซึ่งสังเกตได้โดยง่ายจากสเปคตรัม ระบบการวัดแบบนี้จะต้องอาศัยตัวกำจัดสัญญาณ 2 ตัว เรียกว่าตัวกำจัดสัญญาณต่ำกว่า (E_1) *(lower discriminator)* และตัวกำจัดสัญญาณสูงกว่า (E_2) *(upper discriminator)* มีอินพุทต่อขนานกันและเอาท์พุทของตัวกำจัดสัญญาณแต่ละตัวจะต่อกับวงจร "แอนติโคอินซิเดนซ์" *(anticoincidence)* สมมติมีสัญญาณที่สูงเกินระดับพลังงาน ดังนั้น สัญญาณดังกล่าวจะผ่านตัวกำจัดสัญญาณทั้งคู่ สัญญาณเอาท์พุทจะเดินทางไปถึงตำแหน่งทำการบันทึกค่าในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะถูกกำจัดโดยวงจรแอนติโคอินซิเดนซ์ความแตกต่างของระดับทั้งสองเรียกว่า *"window"* ใช้สัญญลักษณ์ ΔE

มัลติแย่นแน่ลอะนาลัยเซอร์ *(multichannel analyser)* สามารถใช้หาสเปคตรัม *(spectrum)* ของกัมมันตภาพรังสีได้รวดเร็วกว่าแบบซิงเกิลแย่นแน่ลอะนาลัยเซอร์ *(single channel analyser)* โดยแบ่งสัญญาณออกเป็น 256 - 512 กรุ๊ป ถ้าวัดพลังงานแกมม่า - *140 keV* จาก ^{99m}Tc ด้วยหัววัด *NaI(Tl)* จะได้รูปการกระจายของมัลติแย่นแน่ลอะนาลัยเซอร์ดังแสดงในรูป 3.5 พลังงานสูงสุดที่พีคมีค่า *140 keV* สัญญาณจากพลังงานต่ำมักเนื่องจากอิเล็คตรอนซึ่งได้จากการชนกันแบบคอมป์ตัน *(Compton)* ซึ่งโฟตอนที่กระเจิง *(scattered)* สามารถหลุดพ้นจากผลึกได้ อย่างไรก็ตามเมื่อรังสีแกมม่า *140 keV* ถูกดูดกลืนในผลึก พลังงานดังกล่าวจะทำให้เกิดอิเล็คตรอนที่โฟโตแคธโถดปริมาณไม่เท่ากันสม่ำเสมอ เป็นสาเหตุให้พีค-

พลังงานกว้างออก เหตุผลดังกล่าวจึงเป็นขีดจำกัดความสามารถในการแยกพลังงานต่างกันจากต้นกำเนิดกัมมันตรังสีของหัววัด *NaI(Tl)* ซึ่งเรียกว่า "เรสโซลูชั่น" *(resolution)* หาค่าโดยใช้ความสัมพันธ์

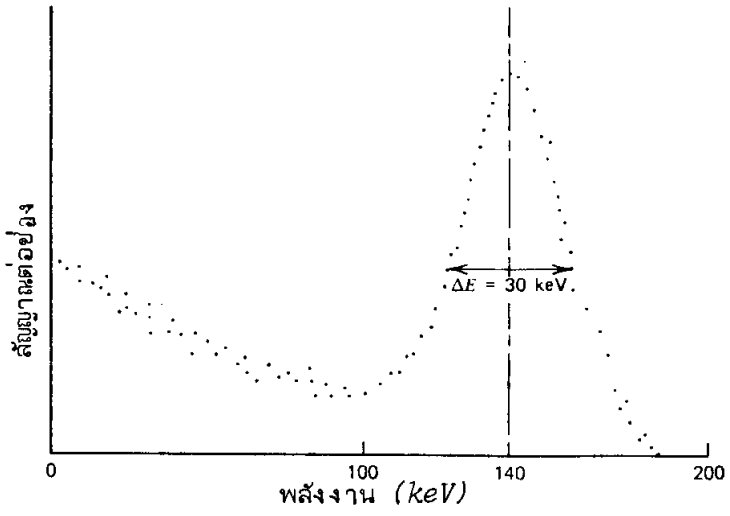
$$resolution = \frac{\Delta E}{E} \times 100\ \%$$

โดย ΔE คือความกว้าง ณ ตำแหน่งสูงครึ่งหนึ่งของพีค

E คือพลังงานที่พีค

ตัวอย่าง จากรูป 3.5 :

$$resolution = \frac{30\ keV}{140 keV} \times 100 = 21\ \%$$



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างสเปคตรัมจากหัววัดแบบซินทิลเลชั่น ต้นกำเนิดกัมมันตรังสีคือ ^{99m}Tc ซึ่งสลายตัวให้รังสีแกมม่า *140 keV* ความกว้างที่ครึ่งความสูงของพีคพลังงานคือ *30keV*

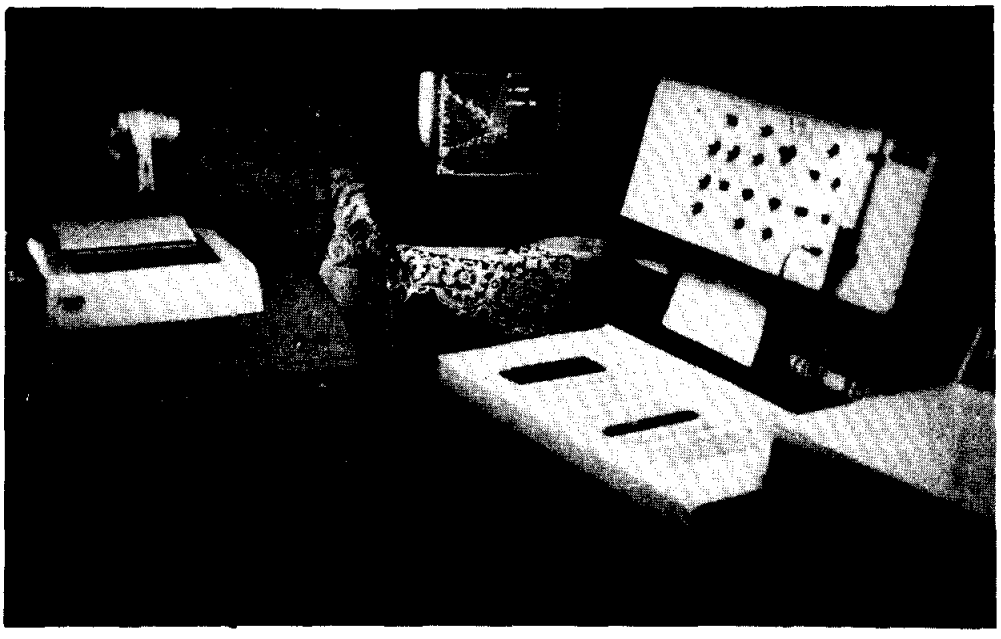
3.5 แรงดันไฟฟ้าขนาดสูง

แอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุทของแต่ละหัววัดขึ้นกับค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงที่ไบแอสในระบบ ดังนั้น ค่าดังกล่าวจึงนับเป็นส่วนสำคัญของระบบอิเล็คทรอนิคส์ที่สมบูรณ์เพื่อใช้ในการขยายและวิเคราะห์สัญญาณ สำหรับหัววัดแบบซินทิลเลชั่นจะมีผลให้แอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุทเปลี่ยนไป 10% (หรือมากกว่า) ถ้าไบแอสด้วยค่าเปลี่ยนแปลงไป 1% ส่วนหัววัดแบบ *GM* และแบบสารกึ่งตัวนำจะเกิดผลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

แฟคเตอร์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องต่อเสถียรภาพของค่าแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงมีมากมาย เช่น เวลา อุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าเข้า และโหลดขาออก หัววัดแบบซินทิลเลชั่นมักถูกสร้างโดยปรับแรงดันไฟฟ้าขนาดสูงให้มีค่าสม่ำเสมอ ดังนั้นแฟคเตอร์สำคัญที่มีผลต่อเสถียรภาพของแรงดันขาออกคือเวลาและอุณหภูมิ โดยทั่วไปทางบริษัทผู้สร้างมักกำหนดค่าเสถียรภาพของแรงดันขาออกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลา 24 ช.ม. เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงประมาณ $10^{o}C$

3.6 เครื่องแสดงผล (indicator)

เป็นเครื่องมือแสดงปริมาณกัมมันตรังสีที่นับวัดได้ อาจแสดงเป็นตัวเลข กราฟ ตัวเลขพิมพ์บนกระดาษ หรือภาพ ชื่อเรียกมีแตกต่างกัน เช่น สเกลเลอร์ *(scaler)* เรตมิเตอร์ *(ratemeter)* พรินต์เตอร์ *(printer)* และเครื่องบันทึก *(recorder)* ซึ่งมีทั้งแบบกราฟเทปแม่เหล็ก ทีวี ออสซิลโลสโคป *(oscilloscope)* และคอมพิวเตอร์ *(computer)* ตัวอย่างของเครื่องแสดงผลแบบคอมพิวเตอร์แสดงในรูป 3.6



รูป 3.6 ตัวอย่างเครื่องแสดงผลคือจอคอมพิวเตอร์ ตัวเลขข้อมูลและแผนภาพพิมพ์ลงบนกระดาษ

3.7 พีคทุติยภูมิ (secondary peak)

ในการวัดพลังงานอนุภาครังสี นอกจากโฟโต้พีคแล้วยังอาจเกิดสเป็คตรัม *(spectrum)* อื่นๆซึ่งมีสาเหตุของการเกิดหลายแบบ ซึ่งขนาดของพีคดังกล่าวมักจะไม่กว้างจนบางครั้งไม่สามารถแยกได้โดยใช้อะนาลัยเซอร์แบบซิงเกิลแชนแน่ล *(single channel analyser)* แต่ถ้าใช้แบบมัลติแชนแน่ล *(multi channel analyser)* จะสามารถมองเห็นได้ชัด ความผิดแปลกที่อาจเกิดขึ้นได้บนสเป็คตร้า *(spectra)* และสาเหตุหรือที่มาของการก่อให้เกิดความผิดแปลกดังกล่าวแยกอธิบายตามหัวข้อต่อไป

3.7 .I พีคเกิดจากการสะท้อนกลับ *(backscatter peak)*

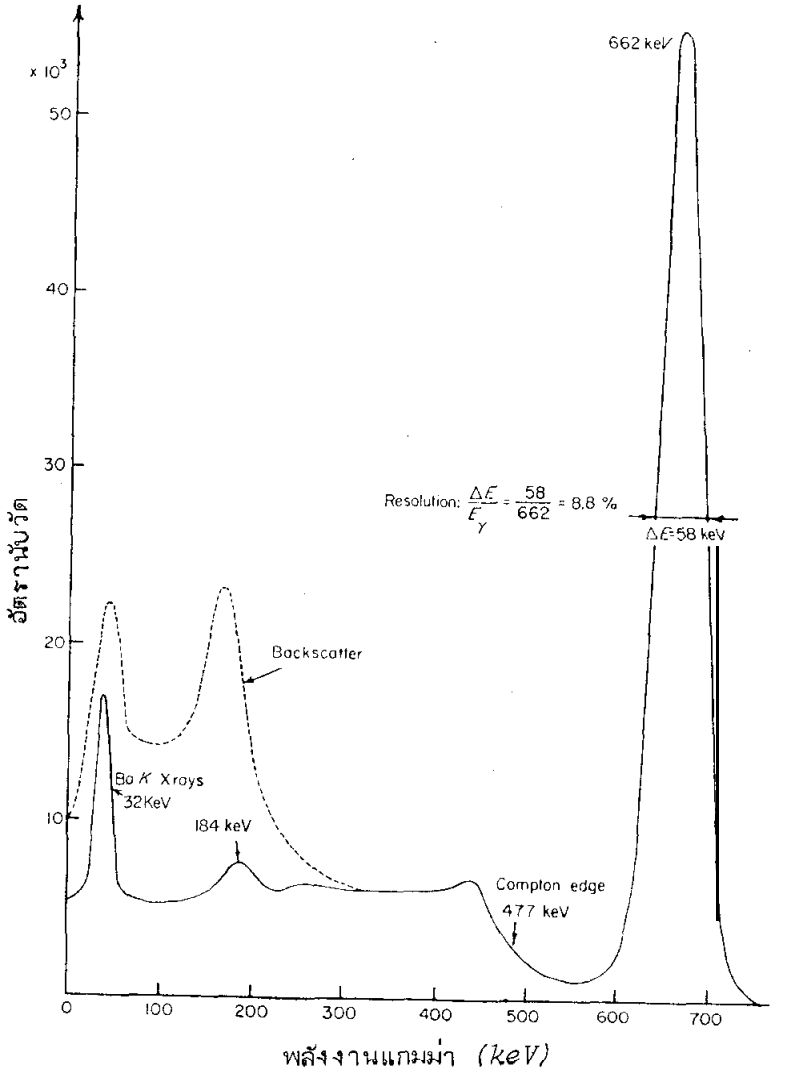
กัมมันตรังสีจากต้นกำเนิดรังสีแกมม่าอาจชนกับวัสดุกั้นหรือสารอื่นๆซึ่งอยู่บริเวณใกล้เคียงเครื่องนับวัด และการชนกันดังกล่าวเป็นไปตามขบวนการคอมป์ตันสแคตเตอริ่ง (ดังได้อธิบายรายละเอียดแล้วข้างต้น) กัมมันตภาพรังสีที่ถูกกระจัดกระจายไปนั้นอาจเข้าสู่หัววัดและถูกหยุดด้วยปรากฏการณ์โฟโตอิเล็คทริค

พลังงานกัมมันตรังสีที่ถูกทำให้กระจัดกระจายขึ้นอยู่กับพลังงานแรกเริ่มของรังสีแกมม่า มุมของการกระจัดกระจายและจำนวนครั้งที่ถูกทำให้กระเจิงไป ถ้ารังสีแกมม่ามีพลังงานแรกเริ่มเหนือ 0.5 *MeV* ปริมาณส่วนใหญ่ของกัมมันตรังสีที่ถูกทำให้กระเจิงไปจะมีพลังงานประมาณ 0.2 *MeV* (40% ของพลังงานแรกเริ่ม) ดังนั้น ถ้ามีสารอื่นๆอยู่ติดกับต้นกำเนิดรังสี ย่อมจะทำให้เกิดพีคที่ได้จากการสะท้อนกลับที่กว้างและมีค่าพลังงานประมาณ 0.2 *MeV* (แสดงในรูป 3.7) ซึ่งถ้าผู้ลังเกตุต้องการจะวัดค่าโฟโตพีค 0.2 *MeV* ย่อมจะเกิดปัญหาสัญญาณรบกวนจากแบ็คกราวนด์ ดังกล่าว

เพื่อกำจัดหรือลดค่าการสะท้อนกลับให้มีค่าน้อยที่สุด จะต้องจัดให้บริเวณที่ว่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดปราศจากวัสดุกั้นใดๆทั้งสิ้น เช่น วัสดุกั้นพวกตะกั่ว กำแพง และผิวโต๊ะเป็นต้น อีกวิธีหนึ่ง คือจัดให้ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดอยู่ ณ บริเวณกึ่งกลางห้องใหญ่ซึ่งมีการป้องกันด้วยวัสดุกั้นเป็นอย่างดี แต่วิธีนี้แพงมาก

3.7.2 พีคจากการหลบหาย (escape *peak)*

ถ้ารังสีแกมม่ามีพลังงานสูงกว่า 1.5 *MeV* การชนกันจะเป็นไปตามขบวนการ "แพร์โพรดัคชั่น" *(pair production)* เป็นส่วนใหญ่ คู่อิเล็คตรอน-โพสิตรอนจะแบ่งพลังงานภายในหัววัด เพื่อโพสิตรอนถูกทำลายจะเกิดรังสีแกมม่า 2 ตัวซึ่งต่างมีพลังงาน 0.511 *MeV* ในทิศทาง



รูป 3.7 สเป็คตรัมของ ^{137}Cs รังสีแกมม่า (662 keV) ตำแหน่งของคอมป์ตัน 477 keV กว้างเนื่องจากเรสโซลูชั่นของผลึก พีคแป็คสแคตเตอร์ 184 keV จะมีขนาดสูงขึ้นเมื่อวางสารมีอะตอมมิคนัมเบอร์ต่ำไว้หลังต้นกำเนิดกัมมันตรังสี

ตรงกันข้าม (180^{o}) กัมมันตรังสีดังกล่าวอาจหลงหายจากหัววัดเพียงตัวใดตัวหนึ่ง หรือทั้งสองตัวก็ได้ (โดยปราศจากการยืนกันโดยยบวนการโฟโตอิเล็คทริค) พลังงานที่ถูกถ่ายทอดไว้ในผลึกจึงมีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดอยู่ 0.511 หรือ 1.022 *MeV* เป็นผลให้เกิดโฟโต้พีคเล็กๆสองพีคคือ 0.511 และ 1.022 *MeV* ต่ำกว่าโฟโต้พีคแท้จริง ซึ่งจะทราบได้โดยพิจารณาตำแหน่งในสเปคตรัม - *(spectrum)* โอกาสที่จะเกิด "การหลบหาย" เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาตรของหัววัดลดลง เช่น สเปค-ตรัมของโซเดียม -24 (^{24}Na) ซึ่งปล่อยรังสีแกมม่า 1.368 และ 2.753 *MeV* สำหรับหัววัดที่มีขนาดใหญ่ๆจะเห็นทั้งสองพีค แต่ถ้าเป็นหัววัดขนาดเล็กจะเห็นพีคจากการหลบหนี ณ ตำแหน่ง 0.346 0.857 1.731 และ 2.231 *MeV*

พีคจากการหลบหายซึ่งเกิดจากการสูญเสียรังสีเอ็กซ์อาจสังเกตุเห็นได้เป็นบางครั้ง เมื่อใช้หัววัดปริมาตรเล็กๆวัดสเปคตรัมพลังงานต่ำ ถ้ารังสีแกมม่าชนกับอิเล็คตรอนในวง *K* ของไอโอไดด์ไอออน จะเกิดการปล่อยอิเล็คตรอน K_{α} หลังจากมีการจัดอิเล็คตรอนในวงโคจรใหม่-แล้ว ถ้ารังสีเอ็กซ์หลบหายไปจะเกิดพีคเล็กๆขึ้น ณ ตำแหน่งต่ำกว่าพีคสำคัญแท้จริงอยู่ *27 keV* ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะเห็นได้ชัดเมื่อพลังงานมีค่าต่ำกว่า *100 keV*

3.7.3 พีครวม *(sum* peaks)

ถ้ารังสีแกมม่าตกกระทบหัววัดในเวลาเดียวกันหรือภายในช่วงเวลาการทำงานของหัววัด ผลคือหัววัดจะบันทึกค่าสเปมอนเป็นเหตุการณ์เดียวคือสเปมอนมีเพียงรังสีแกมม่าตัวเดียวตกกระทบหัววัดนั่นเอง ดังนั้นจะเกิดพีครวม *(sum peak)* ซึ่งมีลักษณะเป็นโฟโต้พีคเล็กๆเกิด ณ ตำแหน่งพลังงานที่มีค่าเท่ากับผลบวกของโฟโต้พีคอื่นๆอีก 2 โฟโต้พีค ดังนั้น โซเดียม - 22 (^{22}Na) ซึ่งปล่อยรังสีแกมม่า 0.511 และ 1.274 *MeV* จะเกิดพีครวม ณ ตำแหน่ง 1.785 *MeV* และโคบอลต์ -60 (^{60}Co) ซึ่งปล่อยรังสีแกมม่า 1.173 และ 1.333 *MeV* จะเกิดพีครวม ณ ตำแหน่ง 2.506 *MeV* ประโยชน์ของพีครวมคือใช้ในการปรับเทียบพลังงาน*(calibrate)*

โอกาสที่รังสีแกมม่าทั้งสองจะตกกระทบหัววัดภายในช่วงเวลารีโซลวิ่ง *(resolving time)* จะเพิ่มขึ้นตามอัตรานับวัด *(count rate)* ซึ่งจะมีค่าสูง เมื่อต้นกำเนิดรังสีอยู่ใกล้กับหัววัดรังสีมากๆ ขนาดของพีครวม (เทียบกับโฟโต้พีค) จะลดลงเมื่อระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีเพิ่มขึ้น ดังนั้น จึงสามารถทราบได้ว่าเป็นพีครวมโดยสังเกตุจากตำแหน่งของพีค และถ้าเพิ่มระยะระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับหัววัดมากๆจะทำให้พีครวมหายไป

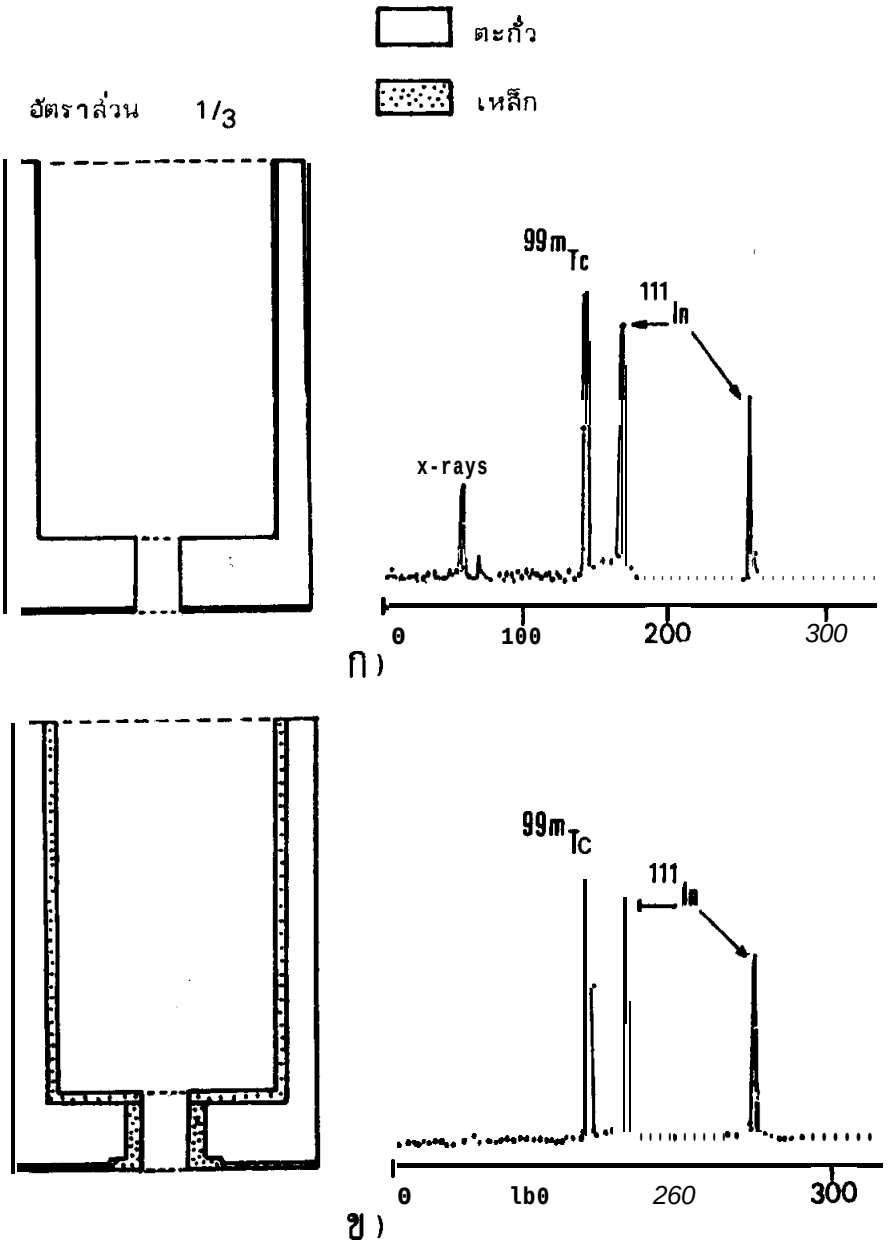
ในบางกรณีอาจเป็นไปได้ที่พีครวมจะรวมกับพลังงานของโฟโต้พีค แต่จะเกิดเฉพาะเมื่อไอโซโทปรังสีมีแผนภาพการสลายตัวที่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น ยูโรเปี่ยม -152 (^{152}Eu) ซึ่งมีครึ่งอายุ 13 ปี ปล่อยรังสีแกมม่า 14 พลังงาน ได้ถูกเสนอให้เป็นต้นกำเนิดรังสีแกมม่ามาตรฐาน (มีครึ่งอายุยาว) แต่ถ้านำไปใช้ในการหาประสิทธิภาพต้องระมัดระวังตำแหน่งที่เกิดพีครวม เนื่องจากมีผลให้ประสิทธิภาพที่หาได้มีค่าผิดพลาดไปจากค่าจริง

3.7.4 พีคเนื่องจากผลของกัมมันตรังสีทุติยภูมิ

กัมมันตรังสีที่เกิดจากการทำลาย *(annihilation)* ที่ *0.511 MeV* เกิดเมื่อรังสีแกมม่าพลังงานสูงชนกับวัสดุกั้นตามขบวนการแพร์โพรดัคชั่น *(pair production)* เหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดในหัววัดหรือในวัสดุกำบังก็ได้ ผลคือเกิดโฟโต้พีคที่ *0.511 MeV* ในสเปคตรัม พีคเหล่านี้เหมือนกับพีคจากการสะท้อนกลับ และจะมีขนาดมากขึ้นเมื่อวัสดุกั้นอยู่ใกล้หัววัด

วัตถุกำบังสามารถทำให้เกิดรังสีเอ็กซ์ได้เช่นกัน รังสีแกมม่าชนกับตะกั่วซึ่งเป็นวัตถุกำบังทำให้อิเล็คตรอนในวง k หลุดออกไป ผลคือเกิดรังสีเอ็กซ์ K_{α} ของตะกั่วที่ *73 keV* ดังนั้นจึงปรากฏโฟโต้พีคที่ *73 keV* ในหัววัด (ดูรูป 3.8)

นอกจากนี้ยังมีเบรมสตราห์ลัง *(bremsstrahlung)* เกิดจากรังสีเบต้าพลังงานสูงเข้าสู่หัววัดและทำให้เกิดเบรมสตราห์ลัง ดังนั้น ในการวัดรังสีแกมม่าต้องนำต้นกำเนิดรังสีเบต้าไว้ห่างๆ หรืออาจใช้วัตถุกำบังที่มีอะตอมมิคนัมเบอร์ต่ำกันไว้



รูป 3.8 แสดงสเปคตรัมของ ^{99m}Tc และ ^{111}In ในรูป ก) จะปรากฏพีคของรังสีเอ็กซ์จากตะกั่ว (ที่ใช้เป็นคอลลิเมเตอร์) ในรูป ข) เป็นการกำจัดพีครังสีเอ็กซ์จากตะกั่วโดยใช้เหล็กเคลือบคอลลิเมเตอร์ด้านใน

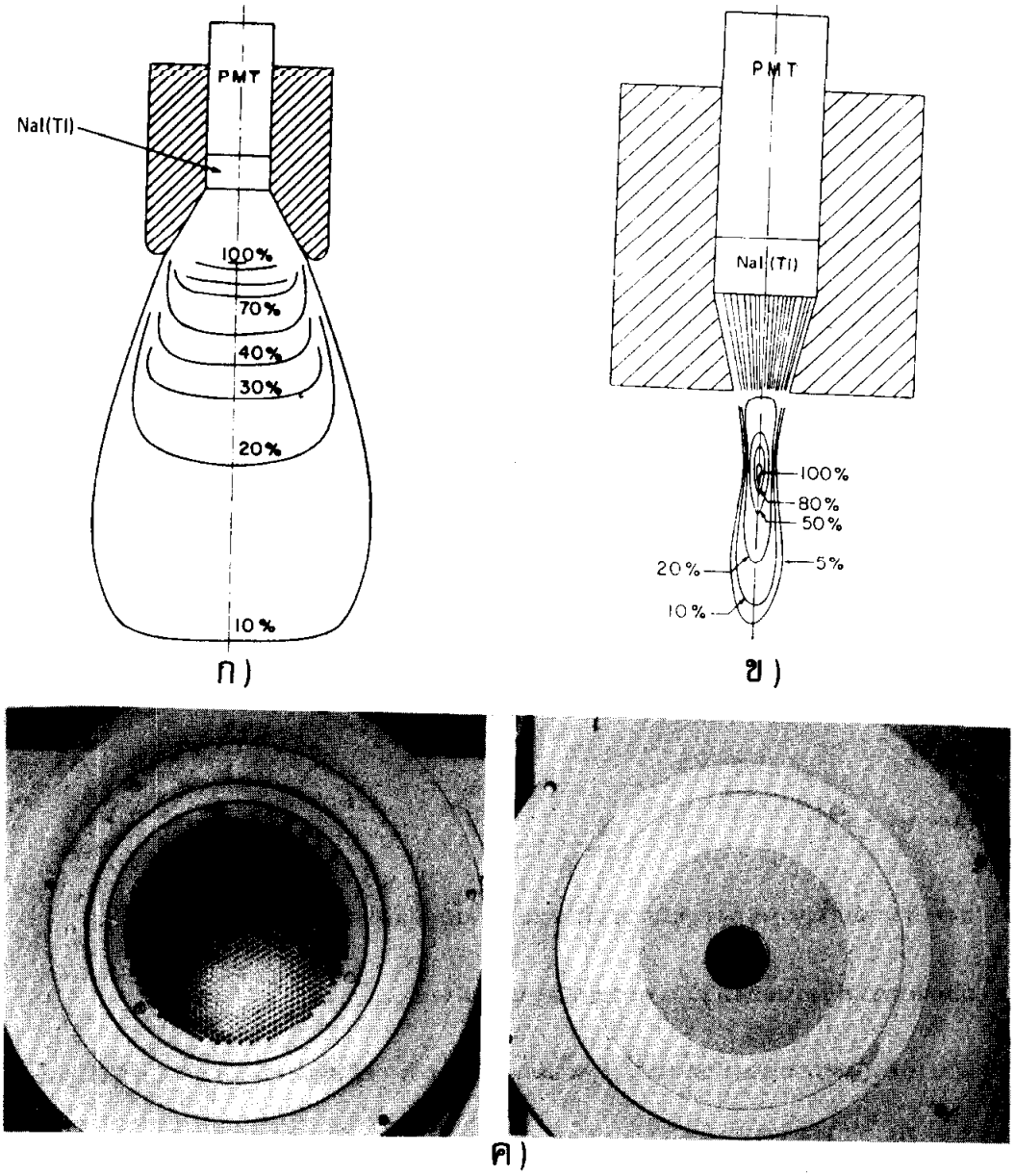
3.8 คอลลิเมเตอร์ (collimator)

เนื่องจากการวินิจฉัยโรคโดยวิธีทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์สำคัญที่การวัดปริมาณกัมมันตรังสีจากส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายโดยเฉพาะ จึงต้องใช้คอลลิเมเตอร์เพื่อจำกัดปริมาณนับวัด-กัมมันตรังสี มักนิยมใช้ตะกั่ว รูป 3.9 แสดงคอลลิเมเตอร์ที่นิยมใช้ทั่วไปมีสองชนิด บนเส้นโค้งเดียวกันจะมีค่าประสิทธิภาพในการนับวัดของหัววัดเท่ากัน เรียกว่า "ไอโซเคานต์" *(isocount)*

คอลลิเมเตอร์มีให้เลือกหลายแบบ เช่น คอลลิเมเตอร์รูเข็ม คอลลิเมเตอร์รูขนาน เป็นต้น คอลลิเมเตอร์แบบเปิดหรือ "แฟลตฟิลด์" *(flat field)* ใช้ประโยชน์ในการนับวัดรังสีแกมม่าจากอวัยวะปริมาตรใหญ่ๆ เช่น ธัยรอยด์ ไต คอลลิเมเตอร์แบบโฟกัสจะใช้เพื่อชี้อวัยวะ-เล็กๆ โดยมีระยะห่าง 7.5 - 12.5 ซม. มักใช้ในงานที่ต้องการหารูปภาพ กล่าวคือ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของหัววัดในการบันทึกปริมาณกัมมันตรังสีจากอวัยวะเล็กๆนั่นเอง ซึ่งแท้จริงแล้ว-คอลลิเมเตอร์แบบนี้มิได้ทำการโฟกัสรังสีแกมม่าแต่อย่างใด ถ้าการตรวจวินิจฉัยเป็นไปอย่างสมบูรณ์แบบแล้วคอลลิเมเตอร์แบบโฟกัสสามารถแยกต้นกำเนิดกัมมันตรังสีห่างกันเพียง 1 ซม. เนื่องจากรังสีแกมม่ามีอำนาจทะลุทะลวงสูงแม้ในตะกั่วก็ตาม การสร้างคอลลิเมเตอร์แบบนี้จะต้องมีการออกแบบพิเศษโดยเฉพาะแต่ละพลังงานของรังสีแกมม่า โดยทั่วไปมักเหมาะสมกับการวัดรังสีแกมม่า *140 keV* จาก ^{99m}Tc

3.9 บทสรุป

ระบบการนับวัดกัมมันตรังสีจะต้องประกอบด้วยหัววัดกัมมันตรังสี (ซึ่งมีหลายแบบ ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 2) แรงดันไฟฟ้าขนาดสูงเพื่อป้อนเข้าในระบบ ส่วนก่อนขยายสัญญาณ ส่วนขยายสัญญาณ ส่วนวิเคราะห์หรือเลือกสัญญาณ ส่วนเก็บสัญญาณ และเครื่องแสดงผล ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.9 คอลลิเมเตอร์ที่นิยมใช้สำหรับหัววัดแบบซินทิลเลชั่น

ก) คอลลิเมเตอร์แบบแฟลตฟิลด์

ข) คอลลิเมเตอร์แบบโฟคัส

ค) ลักษณะภายนอกของคอลลิเมเตอร์ที่เห็นโดยทั่วไป

มักใช้ระบบคอมพิวเตอร์ต่อกับเครื่องมือทางการแพทย์ ซึ่งทำให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลในช่วงเวลาสั้นๆได้ นับเป็นผลดีต่อการศึกษาทางไดนามิกส์เป็นอย่างยิ่ง

นอกจากโฟโต้พีคที่ได้จากพลังงานของกัมมันตรังสีที่ต้องการนับวัดยังมีโฟโต้พีคอื่นๆ อาจเกิดขึ้นได้ เช่น พีคจากการส่ะท้อนกลับ พีคจากการหลบหาย พีครวม และพีคจากกัมมันตรังสีพื้นภูมิ เป็นต้น ผู้ทำการปฏิบัติการต้องคำนึงถึงพีคดังกล่าวเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการนับวัดค่ากัมมันตรังสีที่แท้จริง

ส่วนประกอบสำคัญในการนับวัดกัมมันตรังสีคือคอลลิเมเตอร์ ซึ่งปัญหาเรื่องความไว และความสามารถในการแยกพีคพลังงานขึ้นกับขนาดและปริมาณรูของคอลลิเมเตอร์ด้วยเช่นกัน คอลลิเมเตอร์แบบรูขนานมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่ดีคือ ขนาดของภาพและประสิทธิภาพของการนับวัดไม่ขึ้นกับระยะทางจากอวัยวะถึงคอลลิเมเตอร์ จึงมีประโยชน์ในการศึกษารูปร่างและขนาดของอวัยวะที่ไม่ทราบความลึกจากผิว แต่เรสโซลูชั่นของภาพจะดีที่สุดเมื่อคอลลิเมเตอร์อยู่ชิดกับอวัยวะ

คำถามทบทวน

3.1 องค์ประกอบพื้นฐานของระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลและการแสดงผลมีอะไรบ้าง

3.2 อธิบายการทำงานของส่วนวิเคราะห์สัญญาณพอลังเขป

3.3 อธิบายความหมายของคำต่อไปนี้ พร้อมทั้งเขียนรูปร่างสัญญาณเพื่อประกอบคำอธิบาย

ก) "ไรส์ไทม์"

ข) เวลาการสลายตัว

ค) ดีเลย์ไทม์

ง) ช่วงเวลาเกิดสัญญาณ

3.4 อธิบายการเกิดของพืคทุติยภูมิต่อไปนี้ พร้อมทั้งกล่าวถึงโทษหรือประโยชน์ที่ผู้ลังเกตุได้รับ

ก) พืคเกิดจากการส่ะท้อนกลับ

ข) พืคจากการหลบหาย

ค) พืครวม

ง) พืคเนื่องจากผลของกัมมันตรังสีทุติยภูมิ

3.5 คอลลิเมเตอร์มีความสำคัญอย่างไรในการนับวัดกัมมันตรังสี