หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ สามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีความยากง่าย และ ข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป ถ้าจะจำแนกวิธีการวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ตามลักษณะการวัดกระทำได้ 2 วิธี คือการวัดโดยทางตรงและทางอ้อม

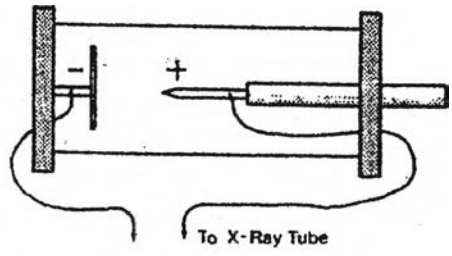
2.1 <u>การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์โดยตรง</u> (Direct Determination of the Peak Kilovoltage of X-ray Machines)

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกวิธีนี้ เป็นการวัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงของแหล่งกำเนิดด้วยอุปกรณ์วัดศักดาไฟฟ้าแรงสูงโดยตรง ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

2.1.1 การวัดค่ากิโลโวลต์พีกจากช่องว่างของการเกิดสปาร์ค (Spark Gap Measurement) วิธีนี้อาศัยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของไฟฟ้าแรงสูงคือ อิเล็กตรอนสามารถกระโดดข้ามช่องว่าง (Spark Gap) ที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential) ได้ โดยระยะที่อิเล็กตรอนเริ่มเกิดการสปาร์ค จะแปรผันตรงกับปริมาณศักดาไฟฟ้า เครื่องมือดังกล่าวประกอบด้วย คาโทด (Cathode) ซึ่งเป็นแผ่นโลหะแบนและอาโนด (Anode) เป็นแท่งโลหะปลายแหลมปรับให้เคลื่อนที่ได้ บรรจุอยู่ในกระบอกแก้ว ดังรูปที่ 2.1

การวัดทำได้โดยต่อเครื่องมือวัดขนานกับหลอดเอกซเรย์ และปรับอาโนดให้เคลื่อนเข้าหาคาโทดจนเริ่มเกิดการสปาร์ค ซึ่งการวัดโดยวิธีนี้ไม่ค่อยแม่นยำ เพราะค่าศักดาไฟฟ้าที่ได้นอกจากจะขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างอาโนดและคาโทดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอย่างอื่น เช่น ความชื้นของอากาศ และ ปรากฏการณ์ "โคโรนา" (Corona Discharge) ที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เป็นต้น

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



An Early Form of Spark Gap

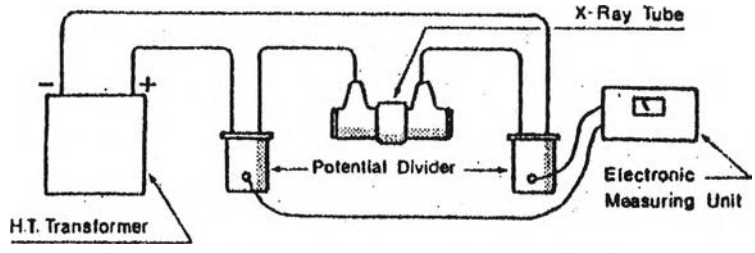
รูป 2.1 เครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์โดยอาศัยการสปาร์คผ่านช่องว่าง (3)

ต่อมาได้มีการปรับปรุงเครื่องมือดังกล่าว โดยเปลี่ยนลักษณะของขั้วไฟฟ้า ให้เป็นโลหะทองแดงรูปกลมผิวเรียบมัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร การวัดกระทำได้เช่นเดียวกับเครื่องมือวัดแบบแรก มีการจำกัดกระแสไฟฟ้าสปาร์คด้วยการต่อตัวต้านทานอันดับไว้กับเครื่องมือวัด ผลการวัดให้ค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าแรงสูง และ ระยะช่องว่าง ในตาราง 2.1 ข้อเสียของการวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยวิธีนี้คือ อาจเกิดอันตรายจากไฟฟ้าแรงสูง

ตาราง 2.1 ผลการวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยใช้ลูกกลมทองแดงทำให้เกิดสปาร์ค(3)

ศักดาไฟฟ้าแรงสูง (kVp)	50	70	90	110	130	150
ระยะช่องที่สปาร์ค (Cm)	1.6	2.4	3.3	4.2	5.4	6.5

2.1.2 การวัดโดยใช้วงจรแบ่งศักดาไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Divider) วิธีนี้ใช้ตัวต้านทานต่อเป็นวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้า เพื่อแบ่งศักดาไฟฟ้าจากขดลวดทุติยภูมิ ของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง(High Tension Transformer)ด้วยอัตราส่วน 1:1000 ถึง 1:100,000 ขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้า ตัวต้านทานที่ต่อเป็นวงจรนี้ทั้งหมดจะถูกบรรจุภายในถังน้ำมันซึ่งเป็นฉนวน เพื่อป้องกันการสปาร์ค และสามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น การวัดค่ากิโลโวลต์พีกทำได้โดยต่อวงจรเข้ากับหลอดเอกซเรย์ และหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ดังรูปที่ 2.2



Connection of the Electronic kV Meter

รูป 2.2 แสดงการต่อวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้าเข้ากับหลอดเอกซเรย์ และหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง (3)

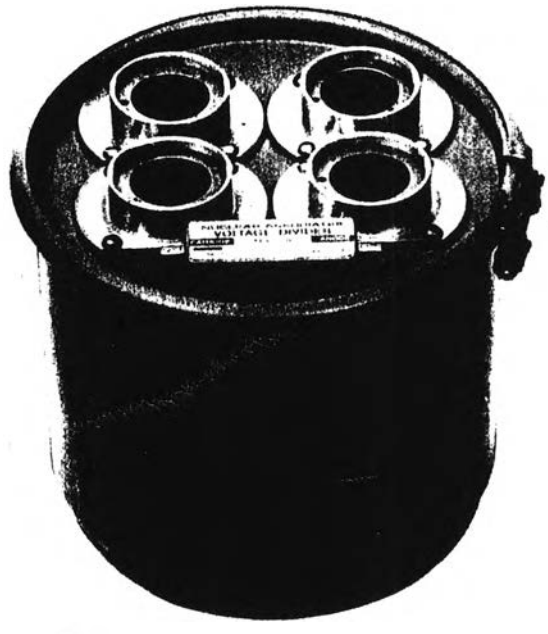
ทำการวัดค่าศักดาไฟฟ้าที่ถูกแบ่งด้วยโวลต์มิเตอร์ ซึ่งสามารถอ่านค่าสูงสุดที่วัดได้ หรือใช้ดิจิตอลสตอเรจออสซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope) วัดค่าศักดาไฟฟ้า ณ จุดที่แบ่งศักดาไฟฟ้านั้น ค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อนำไปคูณกับอัตราส่วนที่ทำการแบ่งศักดาไฟฟ้า จะเป็นค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ โดยใช้วงจรแบ่งศักดาไฟฟ้ามีข้อดี คือ มีความแม่นยำในการวัดสูง และ ถ้าต่อสตอเรจออสซิลโลสโคปเข้ากับวงจร จะสามารถเห็นลักษณะของรูปคลื่นไฟฟ้าที่จ่ายให้ คาโทด และ อาโนดของหลอดเอกซเรย์ ทำให้ทราบทั้งค่ากิโลโวลต์พีก และ เวลา (kVp and Exposure Time)

สำหรับข้อเสีย คือ ทำให้งานถ่ายภาพเอกซเรย์หยุดชะงัก เพราะต้องถอดสายไฟฟ้าแรงสูงออกจากถังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง และหลอดเอกซเรย์ เพื่อต่อเข้ากับวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้าแรงสูง และอุปกรณ์วัดทางไฟฟ้าอื่น ๆ การขนย้ายเครื่องมือไปยังจุดทดสอบทำได้ลำบาก เพราะเครื่องมือมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์โดยวิธีนี้ ส่วนใหญ่จะทำโดยบริษัทผู้ผลิต และวิศวกรซึ่งทำการติดตั้งหรือซ่อมบำรุงเครื่องเอกซเรย์ ในรูป 2.3 แสดงลักษณะของเครื่องแบ่งศักดาไฟฟ้าแรงสูงของบริษัท Victoreen ซึ่งมีจุดต่อสำหรับสายไฟแรงสูงจากหม้อแปลงไฟฟ้า

แรงสูง 2 จุด และต่อออกไปยังหลอดเอกซเรย์ 2 จุด และขั้วต่อ BNC สำหรับ สตอเรจ ออสซิลโลสโคป 2 จุด สามารถวัดไฟฟ้าแรงสูงได้ถึง 150 kVp และสามารถวัดคาบเวลาได้สั้นที่สุด 0.5 มิลลิวินาที โดยมีอัตราส่วนการแบ่งเท่ากับ 100,000:1 ความผิดพลาดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์



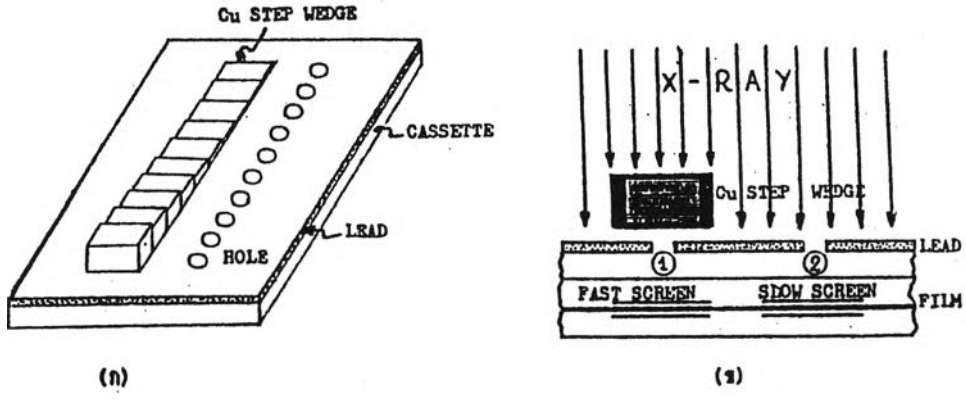
รูป 2.3 เครื่องแบ่งศักดาไฟฟ้าแรงสูงของบริษัท Victoreen (4)

2.2 <u>การวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ทางอ้อม</u> (Indirect Determination of Peak Kilovoltage of X-Ray Machines)

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกด้วยวิธีนี้ ไม่ต้องต่อเครื่องมือที่ใช้เข้ากับเครื่องเอกซเรย์ คือเครื่องมือจะประเมินค่ากิโลโวลต์พีกจากลำรังสีเอกซ์ โดยการวัดความสามารถในการทะลุทะลวง (Penetrated Power) ของรังสีเอกซ์ซึ่งเครื่องมือประเภทนี้มีหลายชนิด เรียกต่างกัน ตามชื่อนักวิทยาศาสตร์ที่พัฒนา และบริษัทผู้ผลิต ให้ผลการวัดที่เชื่อถือได้ และปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูงจึงมีผู้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งงานควบคุมคุณภาพ การถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ งานติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องเอกซเรย์

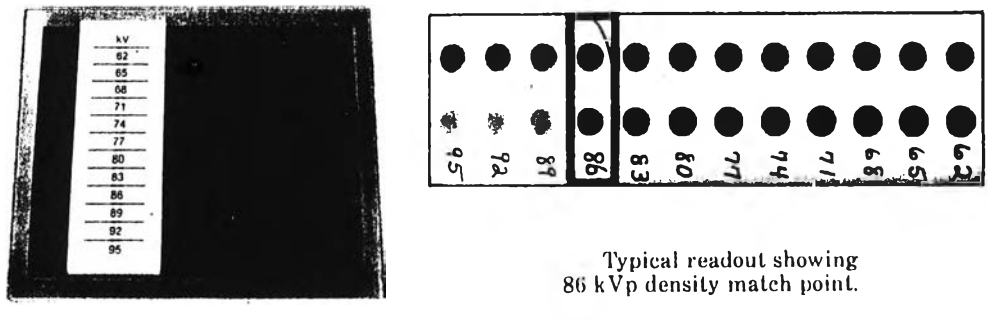
2.2.1 Ardran-Cooks Cassette เครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกชนิดนี้ออกแบบสร้างขึ้น เมื่อ พ.ศ.2511 โดย G.M. Ardran และ H.E. Cooks (5) โดยเรียกเครื่อง นี้ว่า

เครื่องวัด "ความสามารถในการทะลุทะลวง" (Penetrameter) หลักการของเครื่องวัดความสามารถในการทะลุทะลวงชนิดนี้ ใช้รังสีเอกซ์ฉายลงไปบนเครื่องวัดดังรูป 2.4



รูป 2.4 การจัดเรียงส่วนประกอบต่าง ๆ ภายนอกและภายในของ Ardran-Cooks Cassette (5)

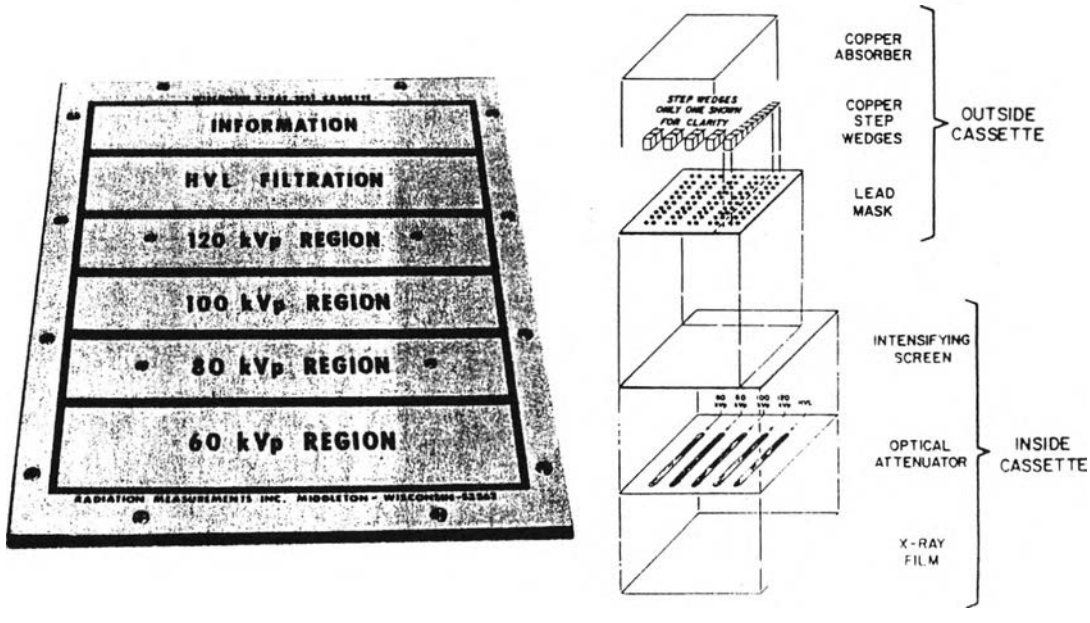
ภาพที่ปรากฏบนฟิล์มเป็นภาพของรูตะกั่วที่เจาะเอาไว้เป็น 2 แถว แถวที่ 1 ความดำบนฟิล์มของแต่ละรูจะค่อย ๆ ลดลง ตามความหนาของลิ่มทองแดงขั้นบันได(Copper Step Wedge) ที่หนาเพิ่มขึ้นตามลำดับ แถวที่ 2 ความดำบนฟิล์มของแต่ละรูจะเท่ากันหมด โดยจะใช้ความหนาของลิ่มที่ทำให้ความดำบนฟิล์มของรูในแถวที่ 1 ตรงกับความดำบนฟิล์มของรูในแถวที่ 2 เป็นค่ามาตรฐานเปรียบเทียบเป็นค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ ดังรูป 2.5



Typical readout showing
86 kVp density match point.

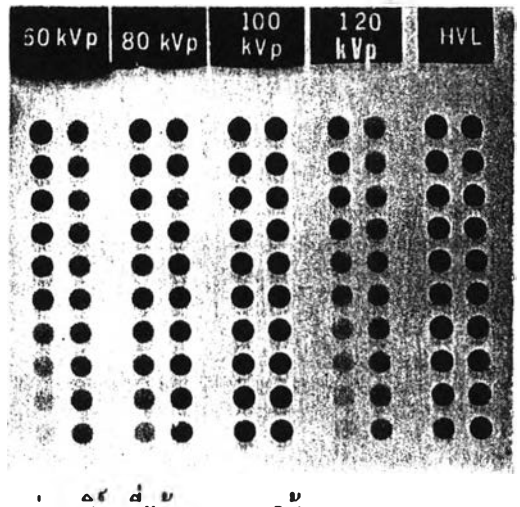
รูป 2.5 แสดงลักษณะของ Ardran-Cooks Cassette และผลการวัดค่ากิโลโวลต์พีก (3)

2.2.2 Wisconsin kVp Test Cassette เมื่อ พ.ศ.2519 Jacobson และคณะ (6) ได้พัฒนาเครื่องวัดความสามารถในการทะลุทะลวงขึ้นมาใหม่ โดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกันกับแบบของ Ardran และ Cooks และได้นำไปใช้งานใน มหาวิทยาลัยวิสคอนซิน (University of Wisconsin) เครื่องมือนี้จึงเรียกว่า "วิสคอนซินแคสเซ็ต" ดังรูปที่ 2.6



รูป 2.6 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของ Wisconsin Cassette (6)

เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นมาใหม่มีลมทองแดงขั้นบันไดถึง 5 อัน ทำให้ความหนาของทองแดงที่สอดคล้องกับค่ากิโลโวลต์พีกมีมากขึ้น จึงวัดค่ากิโลโวลต์พีกได้ในช่วงที่กว้างขึ้น มีความสามารถในการแยกค่า (Resolution) กิโลโวลต์พีก และความถูกต้องมากขึ้นดังรูป 2.7



รูป 2.7 ตัวอย่างฟิล์มที่ได้จากการใช้ Wisconsin Cassette (6)

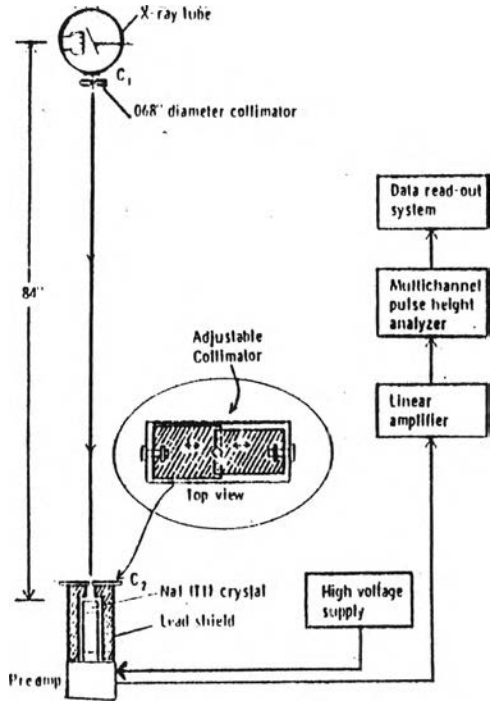
อย่างไรก็ตามการวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยใช้ Ardran - Cooks หรือ Wisconsin Cassette ยังมีข้อเสียหลายประการคือ

(1) ต้องมีเครื่องอ่านค่าความดำของฟิล์ม (Densitometer) การตั้งตัวประกอบทางเทคนิคของเครื่องเอกซเรย์ให้ได้ความดำที่เหมาะสมทำได้ยาก ถ้าผู้ที่ทำการวัดไม่มีความชำนาญพอ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นได้ง่าย

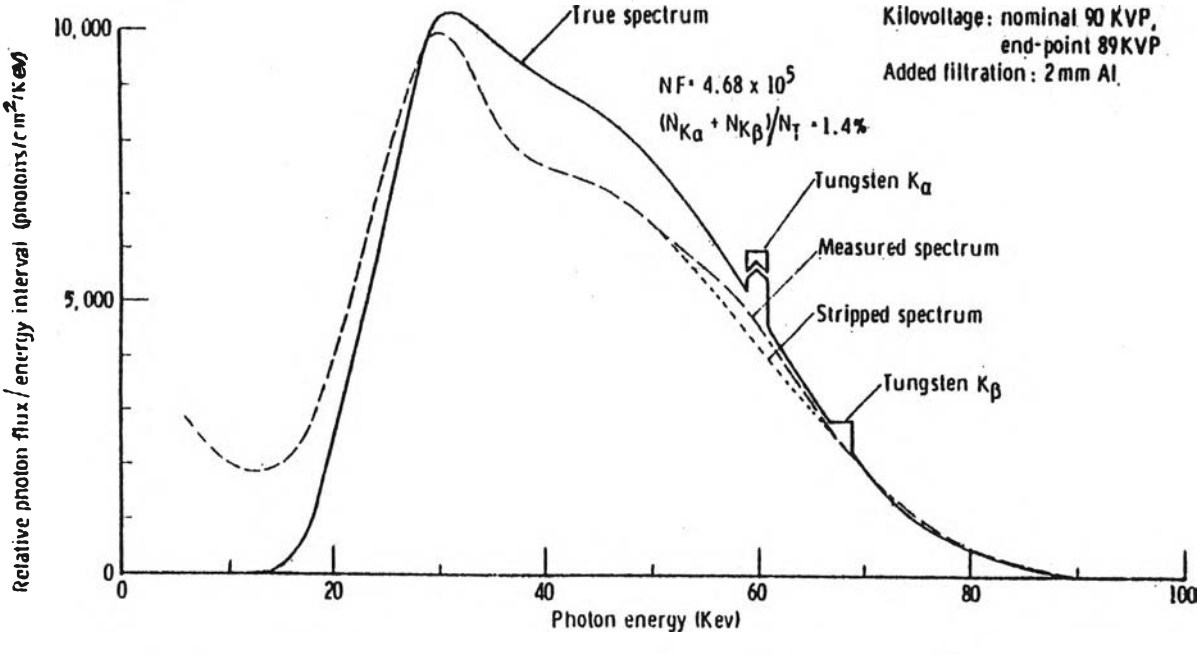
(2) ค่าใช้จ่ายสูง เพราะต้องใช้ฟิล์มเอกซเรย์ 1 ฟิล์ม ต่อค่ากิโลโวลต์พีก 1 ค่า สำหรับ Ardran-Cooks Cassette และ 1 ฟิล์ม ต่อค่ากิโลโวลต์พีก 4 ค่า สำหรับ Wisconsin Cassette

(3) ใช้เวลามาก เนื่องจากการวัดกิโลโวลต์พีกโดยวิธีนี้มีหลายขั้นตอน ตั้งแต่การทำกราฟมาตรฐาน การล้างฟิล์มเอกซเรย์ การอ่านค่าความดำของฟิล์ม แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่ากิโลโวลต์พีก จึงทำให้เสียเวลามาก

2.2.3 การวัดกิโลโวลต์พีกโดยการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีเอกซ์ (X - Ray Spectrum Analysis for Determining kVp) วิธีนี้จะใช้หัววัดรังสีที่สามารถแยกพลังงานได้ กับ เครื่องวิเคราะห์พลังงานแบบหลายช่อง (Multichannel Analyzer , MCA.) โดยจัดระบบวัดรังสี ดังรูป 2.8 สัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสีจะขึ้นอยู่กับระดับพลังงานของรังสีหรือค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ (7) สัญญาณไฟฟ้าจะถูกขยาย และส่งไปวิเคราะห์พลังงานที่ MCA และแสดงผลออกมาเป็น "สเปกตรัมรังสีเอกซ์" ดังรูป 2.9 ทำให้สามารถหาบค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ หัววัดรังสีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สเปกตรัม (8) คือ หัววัดแบบเรืองแสง (Scintillation Detector) พวก NaI(Tl) , CsI(Na) หรือ ZnS(Ag) หัววัดแบบบรรจุก๊าซ(Gas Filled Detector)ที่ทำงานในช่วง "Proportional" บรรจุ ก๊าซอาร์กอน (Argon) คริปตอน (Krypton) หรือ ซีนอน (Xenon) และหัววัดแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Detector) พวก Ge(Li) , Si(Li) หรือ HPGe.



รป 2.8 แสดงการจัดระบบวัดรังสีเพื่อวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์ (7)



รป 2.9 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์จากเครื่องวิเคราะห์หลายช่องเมื่อตั้ง

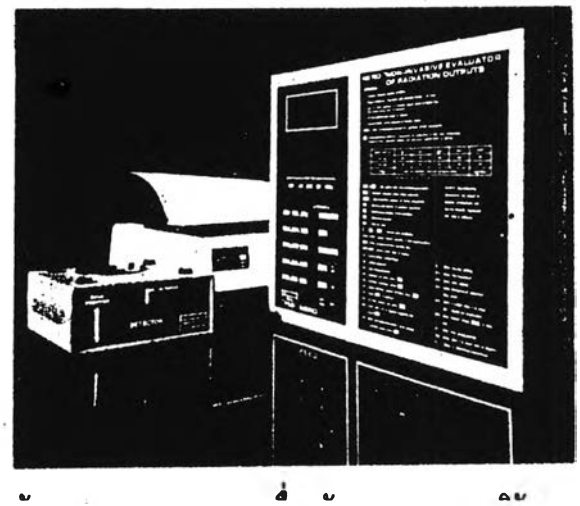
ค่ากิโลโวลต์พีกเท่ากับ 90 kVp (7)

การวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยวิธีนี้ มีความถูกต้องแม่นยำสูง ถ้ามีการจัดระบบวัดรังสีที่ดี ใช้หัววัด ที่มีประสิทธิภาพในการแยกพลังงาน (Energy Resolution) สูงและสามารถวัดรังสี

ที่มีพลังงานอยู่ในช่วงของรังสีเอกซ์ที่ใช้ในงานรังสีวินิจฉัยได้ดี (8) คือ HPGe และ ใช้เครื่องวิเคราะห์พลังงานหลายช่องที่มีประสิทธิภาพสูง

ข้อเสียของการวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยวิธีนี้คือ เครื่องมือมีราคาแพงมากและจะวัดได้เมื่อเดินเครื่องเอกซเรย์แบบต่อเนื่องเป็นเวลานานพอสมควร ซึ่งในการเดินเครื่องเอกซเรย์ในลักษณะเช่นนี้ ต้องตั้งค่ามิลลิแอมแปร์ของเครื่องเอกซเรย์ ประมาณ 1 - 10 มิลลิแอมแปร์ ทำให้ไม่สามารถวัดค่ากิโลโวลต์พีก ที่ค่ากระแสสูงคือ 50 - 500 มิลลิแอมแปร์ซึ่งเป็นค่ากระแสไฟฟ้าของหลอดเอกซเรย์ที่ใช้ ในการถ่ายภาพเอกซเรย์ทางการแพทย์

2.2.4 เครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ บริษัท Keithly , Siemens , Victoreen และบริษัท Scanflex ได้ผลิตเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีก ของเครื่องเอกซเรย์ออกจำหน่าย โดยเครื่องมือดังกล่าวใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด สามารถใช้งานได้สะดวก รวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำสูง



รูป 2.10 ลักษณะภายนอกของเครื่องวัด kVp ของบริษัท Victoreen (4)

การวัดค่ากิโลโวลต์พีก อาศัยหลักการคล้ายกับเครื่องมือของ Ardran-Cooks และ Wisconsin Cassette กล่าวคือ อัตราส่วนของ ปริมาณรังสีทะลุผ่านแผ่นทองแดงสองแผ่นที่มีความหนาต่างกันจะแปรผันตามค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ แต่แทนที่จะใช้ฟิล์มเป็นตัวรับปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านแผ่นทองแดง จะใช้หัววัดรังสีพวก ซีเซียมไอโอไดด์ โฟโตไอโอด (CSI Photodiode) เป็นตัววัดปริมาณรังสีแทน ค่าของปริมาณรังสีที่ผ่านแผ่นทองแดงทั้งสอง

จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าส่งเข้ากระบวนการจัดการสัญญาณ ประมวลผล แล้วจึงส่งมายังภาคแสดงผล เป็นค่ากิโลโวลต์พีก

ตาราง 2.2 แสดงขีดความสามารถของเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีก ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป และ ผลิตเป็นเชิงการค้า แต่ละแบบจะมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน แต่เครื่องวัดประเภทอิเล็กทรอนิกส์ จะสะดวกในการใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงกว่า

ตาราง 2.2 ข้อเปรียบเทียบของเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกแบบต่าง ๆ (9)

PERFORMANCE OF kV-MEASURING DEVICES

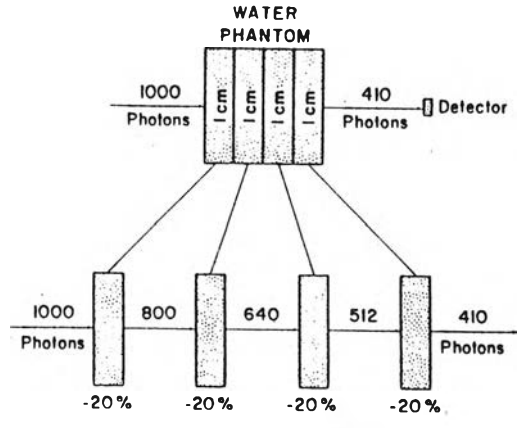
Device	Accuracy	Handling	Auxiliary unit	Advantages	Disadvantages
Double-chamber according to Pychlau	Approx. 6% 130 kV Approx. 18% 130–200 kV	Unmanageable system, installation, measurement and evaluation are very time consuming.		Independent of the dose rate.	Determination of the inherent filtration of the tube is necessary.
Ardran-Crooks cassette.	±5%	Complicated evaluation of the appropriate film density.	Densitometer.		One film for each voltage, very time-consuming.
Wisconsin kV cassette.	±3%	No problems.	Densitometer.	Four voltage measurements on one film.	
Universal test plate according to Eder.	±5% (evaluation by viewing)	No problems.		Rapid evaluation.	Narrow kV range (approx. 70–100 kV).
Siemens kV-meter.	±3%	No problems.		Real-time indication, rapid sequences of measurement.	Basic knowledge of the type of voltage is required (number of pulses).
Digi-X (Scanflex)	±3%	No problems, good training is required.	Oscillograph optional.	Real time indication, rapid sequences of measurements, large scale of application (exposure time, radiation quality, mAs, digital storage of high voltage variations, cursor).	Operation by qualified persons only.
Nero 6000 (Victoreen).	±2%	No problems, good training is required.	Oscillograph and printer optional.	Record and analysis of 8 radiation parameters.	Training by experienced persons only.

2.3 หลักการของเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์แบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือที่ใช้วัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์จากลำรังสีเอกซ์ ซึ่งเป็นวิธีวัดทางอ้อม มีหลักการเหมือนกันคือ วัดความสามารถในการทะลุทะลวงของรังสีเอกซ์ ผ่านแผ่นกรองรังสี (Radiation Filter) โดยประยุกต์จากลักษณะการลดทอนความเข้มรังสีเมื่อ

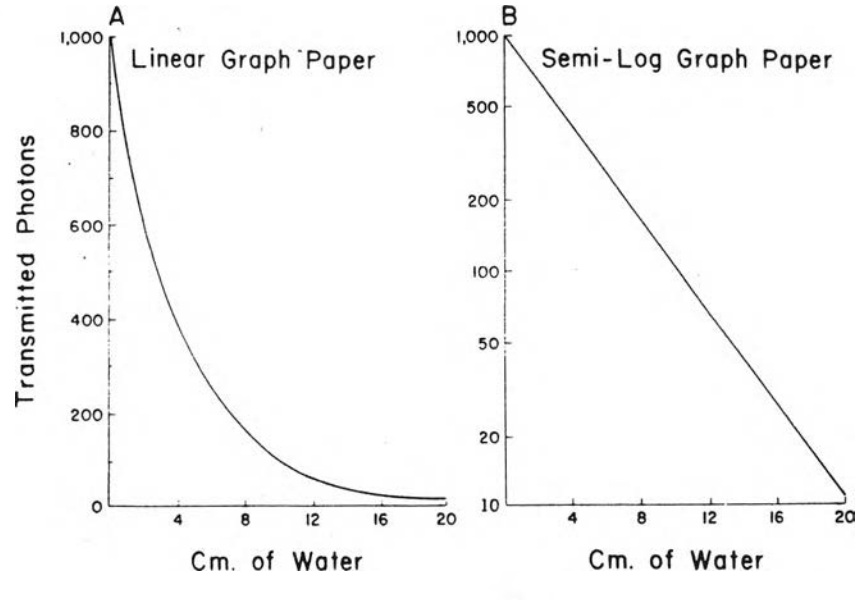
ึ่งผ่านเข้าไปในตัวกลาง

สมมุติลำรังสีซึ่งมีปริมาณโฟตอน (Photon) เท่ากับ 1,000 โฟตอนผ่านเข้าไปในน้ำ ดังรูป 2.11 ความเข้มของรังสีจะลดลงเหลือ 800 โฟตอน เมื่อผ่านน้ำไป 1 เซนติเมตร หรือลดลง 20 เปอร์เซนต์ และจะลดลงอีก 20 เปอร์เซนต์เหลือ 640 โฟตอน เมื่อผ่านน้ำไป 2 เซนติเมตร



รูป 2.11 การลดความเข้มของรังสีเมื่อผ่านเข้าไปในตัวกลาง (10)

ถ้านำจำนวนโฟตอนที่ทะลุผ่านน้ำ และความหนาของน้ำมาเขียนกราฟ จะได้ลักษณะกราฟดังรูป 2.12



รูป 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโฟตอนที่ทะลุผ่าน กับ ความหนาของน้ำ (10)

016005

สำหรับรังสีพลังงานเดียว (Monoenergetic Radiation) เมื่อวิ่งผ่านตัวกลางใด ๆ ความเข้มจะลดลงตามสมการ 2.1 คือ

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \text{---------- (2.1)}$$

เมื่อ I_0 คือ ความเข้มของรังสีก่อนผ่านตัวกลาง

I คือ ความเข้มของรังสีหลังผ่านตัวกลาง

μ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของตัวกลาง (Attenuation Coefficients)

X คือ ความหนาของตัวกลาง

จากสมการ 2.1 จะเห็นว่า การลดทอนพลังงานของรังสีขึ้นอยู่กับ สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงาน และความหนาของตัวกลาง เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานของตัวกลางจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นอะตอม (Atom Density) ตัวกลางกับตัวเลขซึ่งบอกความน่าจะเป็น (Probabilily) หรือโอกาสที่รังสีเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับอะตอมของตัวกลาง ตัวเลขที่บอกความน่าจะเป็นนี้ เรียกว่า ภาคตัดขวางของอันตรกิริยา (Cross Section of Interaction) ดังสมการ 2.2

$$\mu = N \sigma \qquad \text{---------- (2.2)}$$

เมื่อ N คือ ความหนาแน่นของอะตอม

σ คือ ภาคตัดขวางหรือโอกาสที่รังสีจะเกิดอันตรกิริยากับอะตอมตัวกลาง

โดยที่ความหนาแน่นของอะตอมขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นทางกายภาพ (Physical Density, ρ) และน้ำหนักอะตอม (Atomic Weight,M) ดังสมการ 2.3

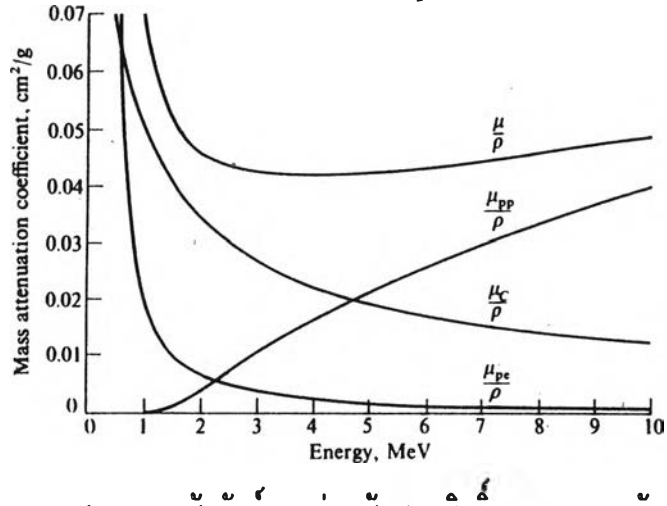
$$N = \rho N_A / M \qquad \text{---------- (2.3)}$$

เมื่อ N_A คือ เลขอาโวกาโดร (Avogadro's Number)

จากสมการ 2.2 และ 2.3 สามารถเขียนได้ใหม่เป็นสมการ 2.4 คือ

$$u = \rho N_A \sigma / M \qquad \text{---------- (2.4)}$$

จะเห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานรังสี ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และค่าภาคตัดขวาง สำหรับรังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา โอกาสที่จะสูญเสียพลังงานส่วนใหญ่จะเกิดจาก ปรากฏการณ์ 3 อย่างคือ โฟโตอิเล็คตริก (Photoelectric) คอมป์ตัน (Comptom) และแพร์โพรดัคชัน (Pair Production) ซึ่งโอกาสที่จะเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และพลังงานของรังสี ดังกราฟในรูป 2.13



รูป 2.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานเชิงมวลของตะกั่ว กับ พลังงานของรังสี (11)

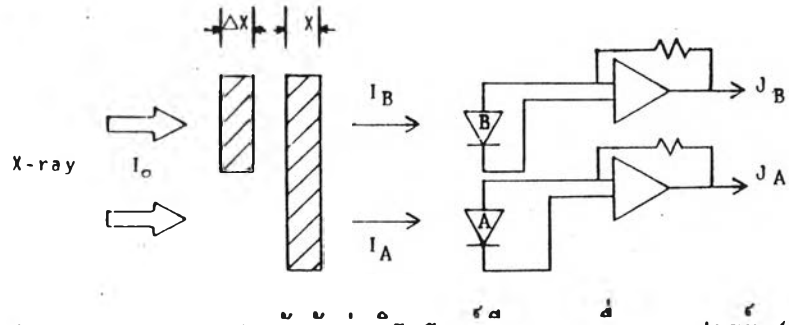
การวัดค่าดิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์จากลำรังสีเอกซ์ ก็อาศัยหลักการของการลดทอนรังสี ซึ่งจะเปลี่ยนตามพลังงานของรังสีเพียงอย่างเดียว เมื่อใช้วัสดุชนิดเดียวกันและมีความหนาเท่ากัน จากกราฟในรูป 2.13 จะเห็นว่าแนวโน้มของสัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานรังสีเชิงมวลจะลดลง เมื่อรังสีมีพลังงานสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งรังสีเอกซ์ ที่ใช้ในการวินิจฉัยโรคทางการแพทย์ จะมีพลังงานอย่างมากไม่เกิน 150 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV)ปรากฏการณ์แพร์โพรดัคชันจะเกิดเมื่อรังสีที่เข้าสู่ตัวกลางมีพลังงานมากกว่า 1020 keV

ดังนั้นในช่วงพลังงานของรังสีเอกซ์วินิจฉัย สัมประสิทธิ์การลดทอนพลังงานรังสีจะลดลง ทำให้ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านตัวกลาง(I_x)จะมากขึ้น เมื่อพลังงานของรังสีที่ตกกระทบตัวกลางมีค่าสูงขึ้น ดังสมการ 2.5

$$\text{X-Ray Energy} \propto I_x \qquad \text{----------} \quad (2.5)$$

หรือ $kVp \propto I_x$ ---------- (2.6)

ความเป็นจริงในทางทฤษฎี และ ปฏิบัติพบว่า การปรับเปลี่ยนค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ นอกจากจะทำให้อิเล็กตรอนจากไส้หลอดเอกซเรย์ (Filament) ถูกเร่งให้มีพลังงานสูงขึ้นแล้ว อิเล็กตรอนจะมีโอกาสที่จะวิ่งไปถึงและชนกับเป้า (Target) เกิดอันตรกิริยาเกิดเป็นรังสีเอกซ์ออกมามากขึ้น คือปริมาณรังสีจะเปลี่ยนทุกครั้ง เมื่อเปลี่ยนค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ การวัดค่ากิโลโวลต์พีกโดยการวัดเฉพาะปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านเพียงอย่างเดียวจะเกิดความผิดพลาดมาก และเนื่องจากรังสีเอกซ์จากหลอดเอกซเรย์จะมีพลังงานแบบต่อเนื่อง จากต่ำสุดถึงสูงสุด คือเท่ากับค่ากิโลโวลต์พีก แต่สมการที่ 2.1 จะเป็นจริงเมื่อ รังสีที่มาตกกระทบตัวกลางมีพลังงานเดียว ดังนั้นจะต้องมีการเพิ่ม การกรองรังสีของลำรังสีเอกซ์ด้วยแผ่นกรองรังสี ที่มีความสามารถในการลดทอนพลังงานรังสีสูงเพื่อให้พลังงานเฉลี่ยของรังสีเอกซ์สูงขึ้น เข้าใกล้พลังงานสูงสุดมากขึ้น และมีการกระจายของพลังงานน้อยลง คือมีลักษณะของสเปกตรัมใกล้เคียงกับรังสีพลังงานเดียว จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น การจัดระบบวัดรังสีเพื่อวัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ จะต้องใช้หัววัดรังสี (Detector) 2 หัว เพื่อวัดปริมาณรังสีที่ตกกระทบแผ่นกรองรังสี และ วัดปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านแผ่นกรองรังสี และจะต้องมีการกรองรังสีเพื่อให้การวัดปริมาณดังกล่าวถูกต้องมากขึ้น ดังรูป 2.14



รูป 2.14 แผนภาพแสดงหัววัดค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ (12)

เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านแผ่นกรองรังสี ซึ่งมีความหนา X และ ΔX ตามรูป 2.14 ความสัมพันธ์ของรังสีที่ผ่านแผ่นกรองรังสีคือ I_A และ I_B จะเป็นดังสมการ 2.7

$$I_B = I_A e^{-\mu\Delta X} \qquad \text{---------- (2.7)}$$

ให้ J_A และ J_B เป็นปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากหัววัดรังสี A และ B และให้ R เป็นอัตราส่วนของปริมาณดังกล่าวจะได้

$$R = Ce^{-\mu\Delta X} \qquad \text{---------- (2.9)}$$

เมื่อ C เป็นความสัมพันธ์การตอบสนองระหว่างหัววัดรังสี A และ B (Relative Response Between the Two Detectors) ในกรณีที่หัววัดรังสี A และ B เป็นหัววัดรังสีชนิดเดียวกัน และมีระบบการวัดรังสีเหมือนกัน ค่าของ C , e และ ΔX จะเป็นค่าคงที่ โดยค่า ΔX จะเป็นตัวกำหนดช่วงของค่ากิโลโวลต์พีกที่สามารถวัดได้

ถ้าให้ C′เป็นผลลัพธ์ของการดำเนินการทางคณิตศาสตร์(Mathematic Operation) ใด ๆ ของค่า C ,e และ X จะได้

$$R = C'\mu \qquad \text{---------- (2.10)}$$

เนื่องจาก μ เป็นฟังก์ชันของพลังงานรังสี หรือค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ จะได้ $R = C'\mu$ (kVp) ---------- (2.11)

หรือ $R = C''$ (kVp) ---------- (2.12)

เมื่อ C" เป็นผลลัพธ์ของการดำเนินการทางคณิตศาสตร์ระหว่าง C′ กับแฟคเตอร์ (Factor) ของการเปลี่ยนค่า μ มาเป็นค่า (kVp)

ความสัมพันธ์ตามสมการ 2.12 เป็นสูตรที่ต้องหาจากการทดลอง (Empirical Formula) โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลคือ R และ kVp แล้ววิเคราะห์ออกมาเป็นสมการเชิงเส้น(Linear Regression Analysis)หาค่า C" เก็บไว้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แล้วจึงนำไปหารกับค่า R ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากรังสีตกกระทบและทะลุผ่านแผ่นกรองรังสี แสดงผลออกมาเป็น ค่าพลังงานของรังสี หรือ ค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์