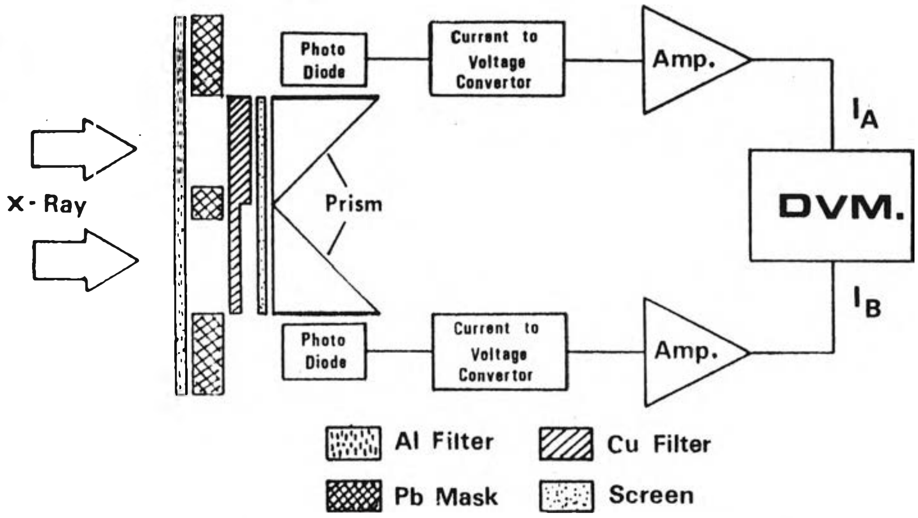
บทที่ 3

การออกแบบ หัววัดกิโลโวลต์พีกและการทดลองหาข้อมูล

เครื่องวัดกิโลโวลต์พีกที่พัฒนาในงานวิจัยนี้ แตกต่างจากเครื่องผลิตขายทั่วไปคือในส่วนของหัววัด แทนที่จะใช้แบบที่สามารถวัดรังสีได้โดยตรง เช่น โซเดียมไอโอไดด์ หรือซีเซียมไอโอไดด์ ซึ่งมีราคาแพง แต่ใช้แผ่นเรืองแสงเปลี่ยนพลังงานรังสีเอกซ์ให้เป็นแสง ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 500-600 ไมโครเมตร คือช่วงของสีเขียวอมเหลือง ใช้โฟโตไดโอดวัดปริมาณแสงที่เกิดขึ้น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำเกิดการเสื่อมสภาพหรือชำรุด เมื่อได้รับรังสีในปริมาณสูงต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำบังรังสี ให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าว และใช้ปริซึมหักเหแสงจากแผ่นเรืองแสง เพื่อให้ตัวโฟโตไดโอดอยู่นอกแนวรังสีปฐมภูมิ การทดลองหาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ วงจรอิเล็กทรอนิกส์แสดงในรูป 3.1 ประกอบด้วย ภาคขยาย อุปกรณ์กรองรังสี กำบังรังสี แผ่นเรืองแสง โฟโตไดโอด ภาคแปลงกระแสเป็นแรงดันไฟฟ้า ภาคขยายและเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าเชิงเลข (Digital Volt Meter , DVM)



รูป 3.1 การจัดระบบวัดรังสีเพื่อศึกษาและทดลองหาข้อมูลเบื้องต้น

3.1 <u>การเลือกใช้แผ่นเรืองแสง</u>

การเลือกใช้แผ่นเรืองแสง ควรศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของแผ่นเรืองแสงแต่ละชนิด คือ สีของแสงที่เปล่งออกมาเมื่อได้รับรังสี ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานรังสีเป็น แสงสว่าง และเวลาในการตอบสนองต่อรังสี (Reponse Time)

จากการศึกษาข้อมูลของแผ่นเรืองแสงที่ผลิตใช้งานในปัจจุบัน พบว่า แผ่นเรืองแสงที่ใช้ในแคสเซตฟิล์มเอกซเรย์ (Film Screen or Intensifying Screen) จะให้แสงสีน้ำเงิน ส่วนแผ่นเรืองแสงที่ใช้ในงาน "ฟลูออโรสโคปิค" (Fluoroscopic) จะให้แสงในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะต่อการมองเห็น คือ แสงสีเขียวอมเหลือง และจากการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัดความเข้มแสง พบว่าอุปกรณ์ประเภทนี้จะไว (Sensitive)ต่อแสงในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟาเรด (Infrared) มากที่สุด สำหรับแสงสีเหลือง เขียว และ น้ำเงิน เมื่อเปรียบเทียบความไวกับรังสีอินฟาเรด จะมีความไวประมาณ 60 , 50 และ 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (15) ดังนั้นจึงควรเลือกแผ่นเรืองแสงที่ให้แสงที่ไวต่อการตอบสนองของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้วัดความเข้มแสงมากที่สุด

การพัฒนาเครื่องวัดค่ากิโลโวลต์พีกนี้ใช้แผ่นเรืองแสงที่ให้แสงสีเขียวอมเหลืองเพราะแผ่นเรืองแสงที่ผลิตขึ้นมาใช้งานทางรังสีในปัจจุบันมีเพียง 3 สี คือ น้ำเงิน เขียว และเหลือง สำหรับประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานรังสีไปเป็นพลังงานแสง จากการสำรวจข้อมูลของแผ่นเรืองแสงจากบริษัทผู้ผลิต (10) พบว่าแผ่นเรืองแสงที่มีส่วนผสมของแร่หายาก (Rare Earth Screen) พวก Terbium - Activated Gadolinium Oxysulfide (Gd_2O_2S :Tb) และ Thulium - Activated Lanthanum Oxybromide (LaOBr :Tm) มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 20 - 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผ่นเรืองแสงที่ใช้ในแคสเซตฟิล์มเอกซเรย์โดยทั่วไปจะเป็นผลึกของ Calcium Tungstate ($CaWO_4$) ซึ่งมีประสิทธิภาพ ในการแปลงพลังงานประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และแผ่นเรืองแสงที่ใช้ในงานฟลูออโรสโคปิค ซึ่งเป็นผลึกของ Silver - Activated Zinc - Cadmium Sulfide (Zns-CdS :Ag)

มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 10 - 15 เปอร์เซนต์ จากข้อมูลดังกล่าวจึงควรเลือกใช้แผ่นเรืองแสงที่มีผลึกเรืองแสงเป็นพวก $Gd_2O_2S:Tb$ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานประมาณ 35 เปอร์เซนต์ ตลอดช่วง 60-120 กิโลโวลต์พีก โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อพลังงานของรังสีเท่ากับ 80 กิโลโวลต์พีก (14) มีชื่อทางการค้าว่า "Lanex Regular" ผลิตภัณฑ์ของบริษัท "Kodak"

สำหรับเวลาในการตอบสนองต่อรังสี ของแผ่นเรืองแสง ก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเพราะรังสีเอกซ์จากเครื่องเอกซเรย์วินิจฉัยมีช่วงเวลาของการฉายรังสีสั้นมากคือ ประมาณ 10 - 1000 มิลลิวินาที เวลาที่แผ่นเรืองแสงใช้ในการเพิ่มความเข้มของแสงสว่าง จาก 10 เป็น 90 เปอร์เซนต์ (Rise Time) เมื่อมีรังสีมากระทบแผ่นเรืองแสง และเวลาที่แผ่นเรืองแสงใช้ในการลดความเข้มของแสงสว่างจาก 90 เหลือ 10 เปอร์เซนต์ (Decay Time)เมื่อไม่มีรังสีมากระทบ ควรสั้นกว่าช่วงเวลาของรังสีเอกซ์วินิจฉัย ไม่ต่ำกว่า 10 เท่า คือควรสั้นกว่า 1 มิลลิวินาที เพื่อให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำงานได้ถูกต้องทันเวลา และลักษณะรูปคลื่นรังสีเอกซ์ไม่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริงมาก

จากการทดลองหาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า เวลาที่แผ่นเรืองแสง $Gd_2O_2S:Tb$, $CaWO_4$ และ ZnS-CdS :Ag ใช้ในการเพิ่มความเข้มแสง (Rise Time) อยู่ในระดับไมโครวินาที คือ ประมาณ 1 - 2 ไมโครวินาที และ เวลาที่แผ่นเรืองแสงดังกล่าวใช้ในการลดความเข้มแสง (Decay Time) อยู่ในระดับประมาณ 5 - 6 ไมโครวินาที ยกเว้น ZnS-CdS:Ag จะใช้เวลาประมาณ 0.5 - 1 วินาที จากข้อมูลดังกล่าวจึงไม่ควรเลือกใช้ ZnS-CaS:Ag เป็นแผ่นเรืองแสงสำหรับใช้ในหัววัดกิโลโวลต์พีก

3.2 <u>การเลือกอุปกรณ์วัดความเข้มแสง</u>

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการวัดความเข้มแสง มีหลายชนิด เช่น ตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานขึ้นอยู่กับความเข้มแสง (Light Dependent Resistor, LDR) เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) โฟโตทรานซิสเตอร์ และ โฟโตไดโอด

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้ คล้ายกับการเลือกใช้แผ่นเรืองแสง และต้องมีความสอดคล้องกัน คือ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้า การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสง และความไวในการตอบสนองต่อแสง

ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในงานวัดทางแสงส่วนมากจะบอกมา ในหน่วยของ Ampere/Watt/cm^2 จากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (15) พบว่า ค่าประสิทธิภาพใน การแปลงพลังงานของโฟโตไดโอด อยู่ในช่วง 0.3 - 7 mA/mW/cm^2 สำหรับโฟโตทรานซิสเตอร์ อยู่ในช่วง 24 - 70 mA/mW/cm^2 จะเห็นว่าโฟโตทรานซิสเตอร์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานสูงกว่า

สำหรับโฟโตไดโอด ก็ต้องพิจารณาข้อแนะนำในการประยุกต์ใช้งาน จากบริษัทผู้ผลิตเช่นเดียวกัน ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจะด้อยกว่า โฟโตทรานซิสเตอร์ แต่สามารถประยุกต์ ใช้ในงานวัดระดับความเข้มแสง โดยออกแบบให้มีพื้นที่ในการรับแสงมาก นอกจากนี้ความเป็นเชิงเส้นของโฟโตไดโอดจะดีกว่าของโฟโตทรานซิสเตอร์

เนื่องจากแผ่นเรืองแสงที่เลือกใช้ ให้แสงสีเขียวอมเหลือง ดังนั้น การเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวัดความเข้มแสง จึงจำเป็นต้องเลือกชนิดที่มี การตอบสนองต่อความยาวคลื่นแสง ที่สอดคล้องกับแสงจากแผ่นเรืองแสง ซึ่งข้อมูลนี้ศึกษาได้จาก กราฟความสัมพันธ์การตอบสนองกับความยาวคลื่นแสง ในคู่มือการใช้งานจากบริษัทผู้ผลิต โดยเปรียบเทียบหาอุปกรณ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ การตอบสนองต่อสีจากแผ่นเรืองแสงมากที่สุด

สำหรับเวลาในการตอบสนองต่อแสงของ โฟโตไดโอด และ โฟโตทรานซิสเตอร์ จากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิต พบว่า ค่าเวลาดังกล่าวอยู่ในระดับไม่เกิน 1 ไมโครวินาที ซึ่งสั้นกว่าช่วงเวลาของรังสีเอกซ์วินิจฉัยมากเพียงพอ

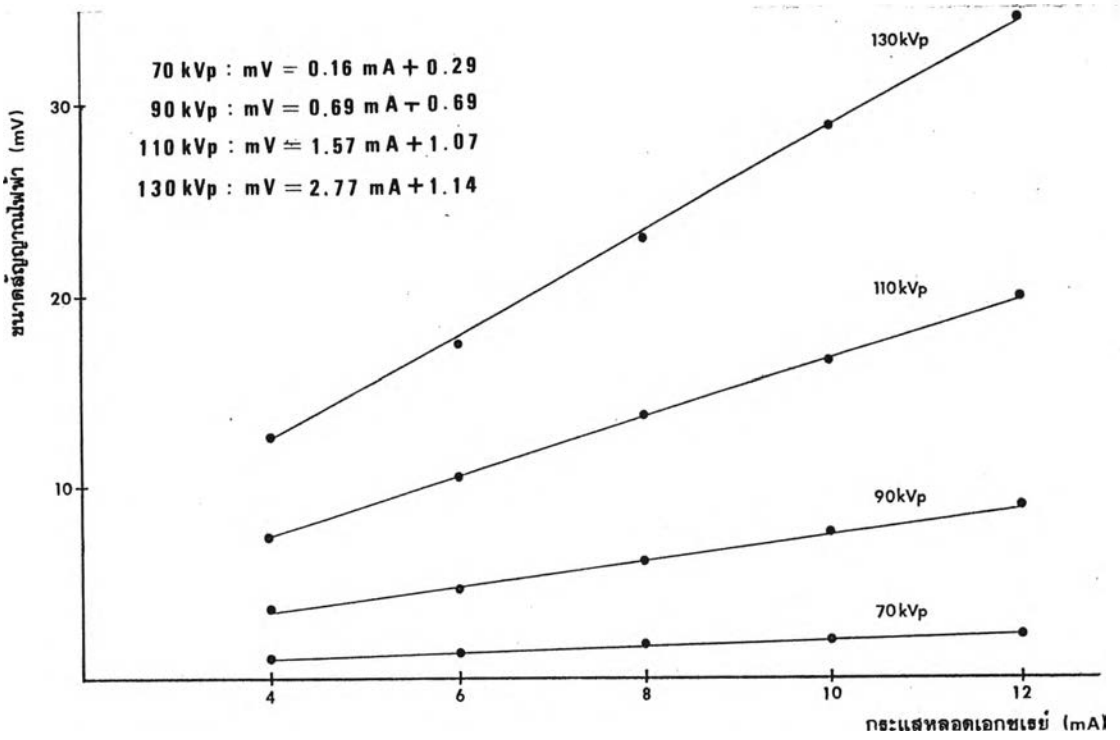
3.3 การศึกษาผลของค่ามิลลิแอมแปร์และค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์กับขนาดสัญญาณไฟฟ้า

ปริมาณรังสีจากหลอดเอกซเรย์จะขึ้นอยู่กับ ค่ามิลลิแอมแปร์ ค่ากิโลโวลต์พีก ของเครื่องเอกซเรย์ และระยะจากหลอดเอกซเรย์กับหัววัดรังสี โดยไม่มีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง เนื่องจากเป็นการวัดอัตราของปริมาณรังสี (Dose Rate) ถ้าให้ระยะทางคงที่ใช้โวลต์มิเตอร์วัดขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากภาคขยายส่วนหน้า ด้านที่เกิดจากรังสีเอกซ์ทะลุผ่านแผ่นทองแดงแผ่นบาง ที่ค่ามิลลิแอมแปร์ และค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ต่าง ๆ กัน ปรากฏผลการทดลองดังตาราง 3.1

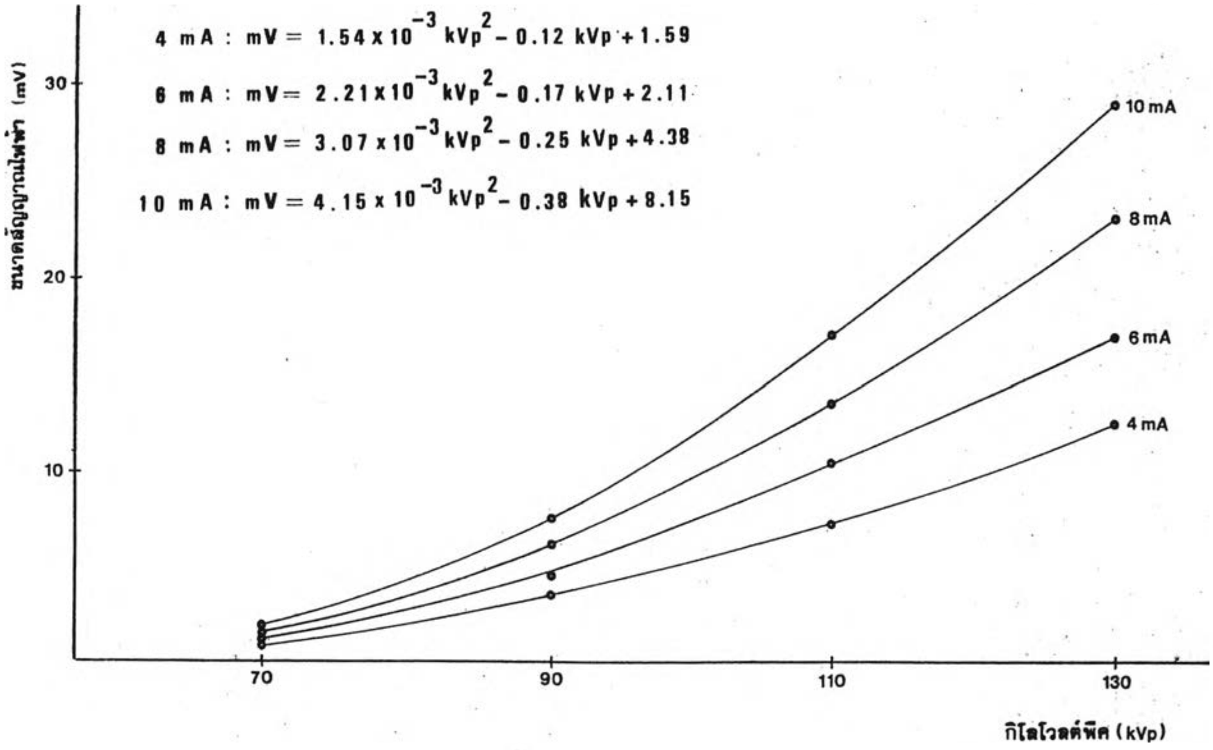
ตาราง 3.1 ผลของค่ามิลลิแอมแปร์และค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ต่อขนาดสัญญาณไฟฟ้าของหัววัดที่ใช้แผ่นกรองทองแดงหนา 0.5 mm

มิลลิแอมแปร์	ขนาดสัญญาณไฟฟ้า (mV)			
(mA)	70kVp	90kVp	110kVp	130 kVp
4	0.95	3.62	7.35	12.49
6	1.18	4.66	10.46	17.48
8	1.68	6.15	13.73	22.11
10	1.89	7.61	16.56	28.92
12	2.21	9.06	19.99	34.46

นำข้อมูลในตาราง 3.1 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามิลลิแอมแปร์และค่ากิโลโวลต์พีกกับขนาดสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟดังรูป 3.2 และ 3.3



รูป 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมิลลิแอมแปร์กับขนาดสัญญาณไฟฟ้า



รูป 3.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกิโลโวลต์พีกกับขนาดสัญญาณไฟฟ้า

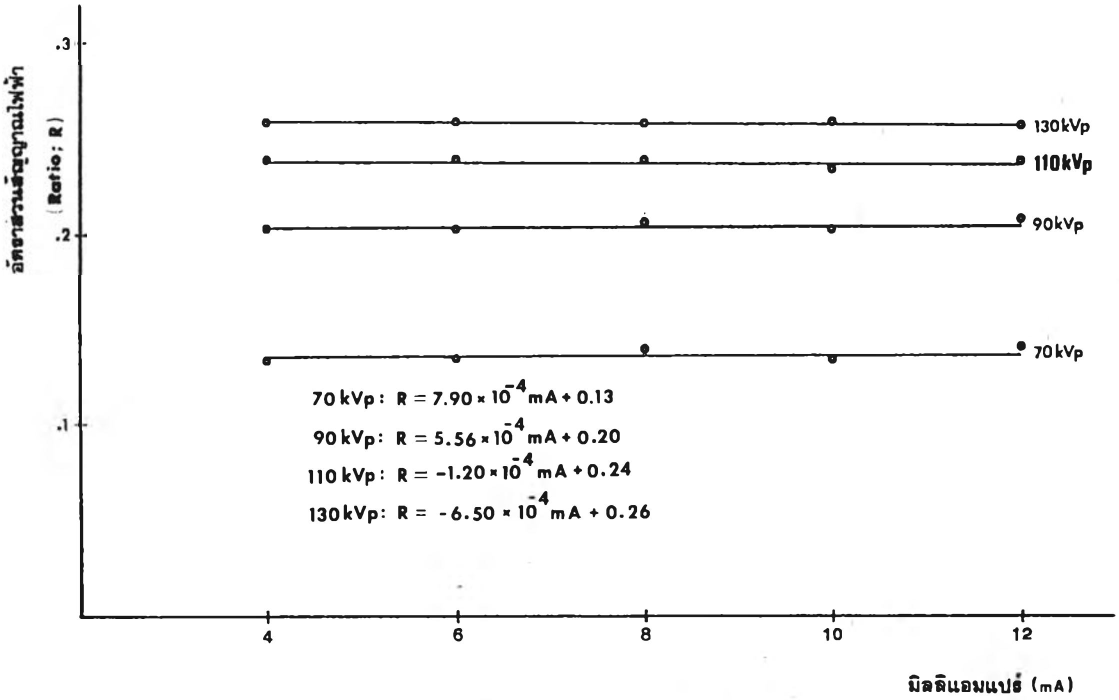
3.4 การศึกษาผลของค่ามิลลิแอมแปร์อัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า

ทำการทดลอง หาค่าอัตราส่วนของสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี วัดขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากรังสีเอกซ์ ทะลุผ่านแผ่นทองแดงหนา 0.5 และ 1.0 มิลลิเมตร นำค่าของขนาดสัญญาณไฟฟ้าทั้งสองมาหาอัตราส่วนที่ค่ามิลลิแอมแปร์ของเครื่องเอกซเรย์ต่าง ๆ กัน ได้ผลการทดลองดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 ผลของค่ามิลลิแอมแปร์ต่ออัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าเมื่อค่ากิโลโวลต์พีกเท่ากับ 70 , 90 , 110 , 130 kVp

มิลลิแอมแปร์ (mA)	อัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า (I_A/I_B)			
	70 kVp	90 kVp	110 kVp	130 kVp
4	0.134	0.203	0.238	0.258
6	0.135	0.203	0.237	0.258
8	0.140	0.207	0.237	0.257
10	0.134	0.203	0.234	0.258
12	0.142	0.209	0.238	0.257

นำผลการทดลองในตาราง 3.2 ไปเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่ามิลลิแอมแปร์ กับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี ได้กราฟเส้นตรง ดังรูป 3.4



รูป 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมิลลิแอมแปร์กับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า

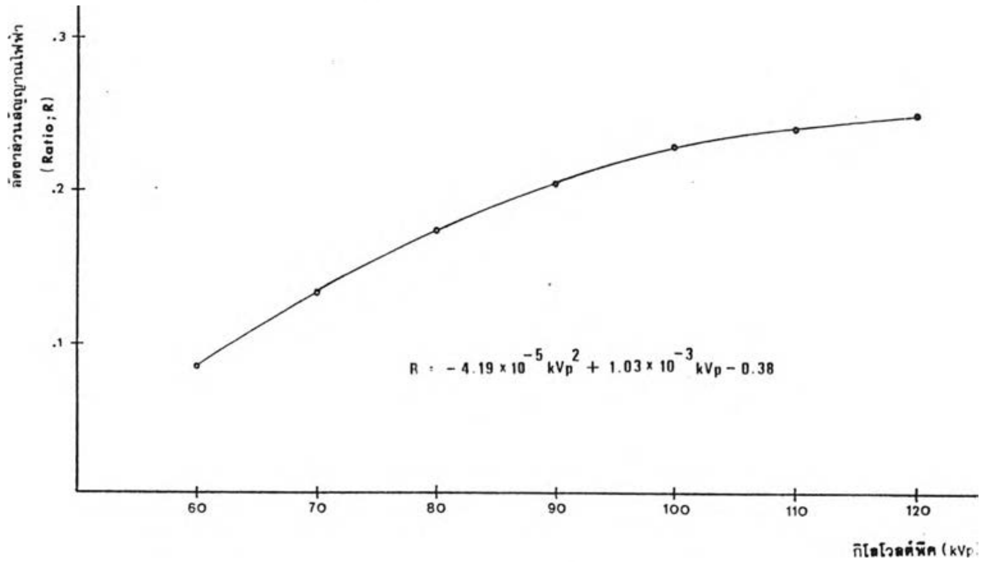
3.5 <u>การศึกษาผลของค่ากิโลโวลต์พีกกับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า</u>

ทำการทดลอง หาค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี เมื่อเปลี่ยนค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ ได้ผลการทดลองดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ผลของค่ากิโลโวลต์พีกหลอดเอกซเรย์ ต่ออัตราส่วนสัญญานไฟฟ้า จากหัววัดรังสี

กิโลโวลต์พีก (kVp)	60	70	80	90	100	110	120
อัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า	0.085	0.133	0.174	0.205	0.230	0.242	0.251

นำข้อมูลในตาราง 3.3 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีกกับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟเส้นโค้ง ดังรูป 3.5



รูป 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีคกับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า

3.6 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณไฟฟ้ากับค่ามิลลิแอมแปร์

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของค่ามิลลิแอมแปร์ ต่อขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ ระหว่างมิลลิแอมแปร์กับขนาดสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟเส้นตรงดังรูป 3.2 โดยมีสมการของเส้นกราฟดังนี้

ที่ 70 kVp : mV = 0.16 mA + 0.29 .... (3.1)

90 kVp : mV = 0.69 mA + 0.69 .... (3.2)

110 kVp : mV = 1.57 mA + 1.07 .... (3.3)

130 kVp : mV = 2.77 mA + 1.14 .... (3.4)

เมื่อ mV คือ ขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์

mA คือ กระแสหลอดเอกซเรย์ มีหน่วยเป็นมิลลิแอมแปร์

จะเห็นว่าสมการ 3.1-3.4 เป็นสมการของกราฟเส้นตรงซึ่งสามารถนำมาเขียนในรูปของสมการเส้นตรงทั่วไป (13) คือ Y = aX + b

หรือ mV = a(mA) + b ....(3.5)

เมื่อ a และ b คือ ค่าคงที่

จากสมการ 3.5 จะเห็นว่า ขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสีแปรผันโดยตรงกับค่ากระแสหลอดเอกซเรย์ เนื่องจากการเพิ่มค่ากระแสหลอดเอกซเรย์ หรือค่ามิลลิแอมแปร์จะทำให้ จำนวนอิเล็กตรอนที่ไส้หลอดเอกซเรย์ (Filament) มากขึ้น ความเข้มหรือปริมาณรังสีเอกซ์ที่ออกมาจากหลอดเอกซเรย์ จึงเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่ากระแสหลอดเอกซเรย์

3.7 <u>ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดสัญญาณไฟฟ้ากับค่ากิโลโวลต์พีก</u>

จากการทดลองเพื่อศึกษาผลของค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ต่อขนาดสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัดรังสี เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีกกับขนาดสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟเส้นโค้งโดยมีสมการของเส้นกราฟดังนี้

ที่ 4 mA : $mV = 1.54 \times 10^{-3}\ kVp^2 - 0.12\ kVp + 1.59$ .... (3.6)

6 mA : $mV = 2.21 \times 10^{-3}\ kVp^2 - 0.17\ kVp + 2.11$ .... (3.7)

8 mA : $mV = 3.07 \times 10^{-3}\ kVp^2 - 0.25\ kVp + 4.38$ .... (3.8)

10 mA : $mV = 4.15 \times 10^{-3}\ kVp^2 - 0.38\ kVp + 8.15$ .... (3.9)

เมื่อ kVp คือ ค่าศักดาไฟฟ้าคร่อมหลอดเอกซเรย์ มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์พีก

สมการ 3.6 - 3.9 ได้จากการใช้ โพลีโนเมียล รีเกสชัน (Polynomials Regression) เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลัง 2 ซึ่งมีลักษณะของเส้นกราฟเป็นแบบสมการกำลัง (Power Curve Model) สามารถนำมาเขียนในรูปสมการกำลังทั่วไป (13) คือ $Y = aX^n$ เมื่อ a และ n คือ ค่าคงที่ จากการพิจารณาสมการ 3.6 - 3.9 จะเห็นว่ารูปของสมการมีลักษณะผสมกันระหว่างสมการเส้นตรงและสมการกำลัง (Linear and Power Equation) ซึ่งแสดงว่า การเพิ่มค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ เป็นการเพิ่มศักดาไฟฟ้าแก่หลอดเอกซเรย์ นอกจากจะทำให้อิเล็กตรอนถูกเร่งให้มีพลังงานจลน์สูงขึ้นแล้ว ยังทำให้โอกาสที่อิเล็กตรอนจากไส้หลอดวิ่งไปถึงเป้า (Target) เกิดอันตรกิริยา (Interaction) มีมากขึ้นด้วย

การเพิ่มค่ากิโลโวลต์พีก จึงเป็นการเพิ่มทั้งพลังงาน และความเข้มของรังสีเอกซ์ ทำให้รูปสมการมีลักษณะผสมดังกล่าว เมื่อพิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดสัญญาณไฟฟ้ากับพลังงานของรังสี ลักษณะของความสัมพันธ์จะเป็นสมการกำลัง คือ

$$mV = a\ E^{n} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ (3.10)$$

เมื่อ E คือ พลังงานของรังสีเอกซ์ มีหน่วยเป็น กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ (keV)

และ n คือ ค่าคงที่ ซึ่งขึ้นอยู่กับการกรองรังสีของหลอดเอกซเรย์ สำหรับหลอดเอกซเรย์โดยทั่วไป (14) n จะมีค่าประมาณ 2

3.8 <u>ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้ากับค่ามิลลิแอมแปร์</u>

จากการทดลอง เพื่อศึกษาผลของค่ามิลลิแอมแปร์ของหลอดเอกซเรย์ ต่ออัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามิลลิแอมแปร์ กับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟเส้นตรงดังรูป 3.4 โดยมีสมการของเส้นกราฟ ดังนี้

ที่ 70 kVp : $R = 7.90 \times 10^{-4}\ mA + 0.13$ ...... (3.11)

90 kVp : $R = 5.65 \times 10^{-4}\ mA + 0.20$ ...... (3.12)

110 kVp : $R = -1.20 \times 10^{-4}\ mA + 0.24$ ...... (3.13)

130 kVp : $R = -6.50 \times 10^{-4}\ mA + 0.26$ ...... (3.14)

เมื่อ R คือ อัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า หรือผลหารระหว่างขนาดสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากรังสีทะลุผ่านแผ่นกรองทองแดง หนา 0.5 ต่อ 1.0 มิลลิเมตร

จะเห็นว่าสมการ 3.11 - 3.14 เป็นสมการของกราฟเส้นตรงมีความชัน(Slope) ใกล้ศูนย์ ทำให้ลักษณะของเส้นกราฟ เกือบขนานกับแกน X ซึ่งเป็นค่ามิลลิแอมแปร์ หรือค่ากระแสหลอดเอกซเรย์ สรุปได้ว่าการเปลี่ยนค่ากระแสหลอดเอกซเรย์ หรือ ความเข้มรังสีเอกซ์ไม่มีผล หรือไม่ทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง

3.9 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้ากับค่ากิโลโวลต์พีก

จากการทดลอง เพื่อศึกษาผลของค่ากิโลโวลต์พีกของเครื่องเอกซเรย์ ต่ออัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีก กับอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า ได้กราฟเส้นโค้งดังรูป 3.5 โดยมีสมการเส้นกราฟ คือ

$$R = -4.19 \times 10^{-5}\ kVp^{2} + 1.03 \times 10^{-3}\ kVp - 0.38 \quad \ldots\ (3.15)$$

สมการ 3.15 ได้จากการใช้ โพลีโนเมียล รีเกสชั่น เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลัง 2 ซึ่งมีลักษณะของเส้นกราฟเป็นแบบ อัตราเติบโตที่มีจุดอิ่มตัว (Saturation Growth Rate Model) มีรูปสมการทั่วไป (13) คือ Y = aX/b + X เมื่อ a และ b เป็นค่าคงที่

จากลักษณะเส้นกราฟของ สมการ 3.15 จุดอิ่มตัวจะเป็นตัวชี้บอก ช่วงของค่ากิโลโวลต์พีกที่สามารถวัดได้ โดยจุดอิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับคู่ความหนาของแผ่นกรองรังสี กล่าวคือ คู่ของแผ่นกรองรังสีที่มีความหนามาก จะเกิดการอิ่มตัวที่ค่ากิโลโวลต์พีกสูงกว่าคู่ของแผ่นกรองรังสีที่มีความหนาน้อย แต่การเลือกคู่ความหนาของแผ่นกรองรังสีควรพิจารณาถึงความสามารถในการแยก (Resolution) ค่ากิโลโวลต์พีกร่วมกันไปด้วย โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงค่าความชัน (Slope) ของเส้นกราฟ หรือการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าต่อค่ากิโลโวลต์พีก จากการทดลองหาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า คู่ของแผ่นกรองรังสีที่มีความหนาน้อยจะมีความสามารถในการแยกค่ากิโลโวลต์พีก หรือช่วงพลังงานต่ำได้ดี ส่วนคู่ที่มีความหนามากจะมีความสามารถในการแยกช่วงพลังงานสูงได้ดี ดังนั้น ในการออกแบบหัววัด ควรคำนึงถึงช่วงกิโลโวลต์พีกที่ต้องการวัดด้วย

เนื่องจากการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับปรับเทียบความสัมพันธ์ของกราฟในรูป 3.5 มีความยุ่งยากซับซ้อนและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง คือ จะต้องใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน่วยความจำ คำนวณ และ ประมวลผล แต่การใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น ในการปรับเทียบความสัมพันธ์ของกราฟดังกล่าว ก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดมาก ทางเลือกอีกทางหนึ่ง คือ แบ่งกราฟออกเป็นหลายช่วง และแทนแต่ละช่วงด้วยวงจรเชิงเส้น จะทำให้ความ

ผิดพลาดในการปรับเทียบลดลง แต่การแบ่งกราฟออกเป็นหลายช่วงก็เพิ่มความยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายในวงจรอิเล็กทรอนิกส์

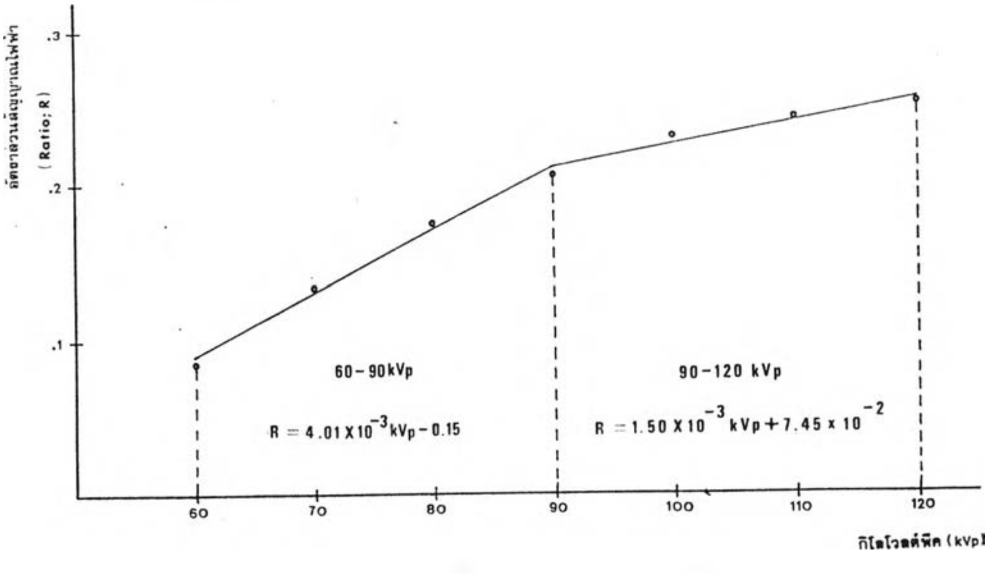
ในการพัฒนานี้ใช้วิธี แบ่งกราฟออกเป็น 2 ช่วง คือ 60 - 90 กิโลโวลต์พีก และ 90 - 120 กิโลโวลต์พีก แล้วแทนด้วยกราฟเส้นตรง 2 เส้น ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์เชิงเส้น (Linear Circuit) 2 วงจร สำหรับปรับเทียบแต่ละช่วง จะช่วยลดความยุ่งยากในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีความผิดพลาดในช่วงที่ยอมรับได้คือ 5 เปอร์เซ็นต์ (9)

การแบ่งกราฟเส้นโค้งในรูป 3.5 ออกเป็น กราฟเส้นตรง 2 เส้น ดังรูป 3.6 ได้ความสัมพันธ์ ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีก (kVp) และอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า (R) เป็นดังสมการ 3.16 และ 3.17

ช่วง 60 - 90 kVp : $R = (a_1)kVp + b_1$ .... (3.16)

ช่วง 90 - 120 kVp: $R = (a_2)kVp + b_2$ .... (3.17)

เมื่อ a_1, a_2, b_1 และ b_2 คือ ความชัน (slope) และจุดตัดแกนอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าของกราฟทั้งสองตามลำดับ ซึ่งค่าคงที่เหล่านี้ เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง



รูป 3.6 แสดงการแบ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีก และอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วง

จากการแบ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิโลโวลต์พีก และอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า ออกเป็น 2 ช่วง ตามรูป 3.6 ได้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงคือ

ช่วง 60 - 90 kVp : $R = 4.01 \times 10^{-3}$ kVp - 0.15 .... (3.18)

ช่วง 90 - 120 kVp : $R = 1.50 \times 10^{-3}$ kVp + 7.45×10^{-2}...... (3.19)

โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากิโลโวลต์พีก และอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้า เป็นกราฟเส้นโค้งดังรูปที่ 3.5 เมื่อเปรียบเทียบความผิดพลาดของการปรับเทียบในช่วง 60 ถึง 90 กิโลโวลต์พีก โดยเลือกจุดกึ่งกลางคือ 75 กิโลโวลต์พีก แล้วแทนค่าลงในสมการ 3.15 จะได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.1546 เมื่อเอาค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าไปเทียบกับสมการ 3.18 จะได้ค่ากิโลโวลต์พีกเท่ากับ 76.3 ซึ่งมีความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 1.7

ทำนองเดียวกันความผิดพลาดของการปรับเทียบในช่วง 90 ถึง 120 กิโลโวลต์พีก โดยเลือกจุดสูงสุดของค่ากิโลโวลต์พีก ที่ตรวจสอบในทางปฏิบัติ คือ 100 กิโลโวลต์พีก เมื่อแทนค่าลงในสมการ 3.15 จะได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าเท่ากับ 0.2287 เมื่อเอาค่าอัตราส่วนสัญญาณไฟฟ้าไปเทียบกับสมการ 3.19 จะได้ค่ากิโลโวลต์พีกเท่ากับ 102.9 ซึ่งมีความผิดพลาดคิดเป็นร้อยละ 2.9 ซึ่งความผิดพลาดดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับเครื่องมือวัดระดับรังสีวินิจฉัย (9)