

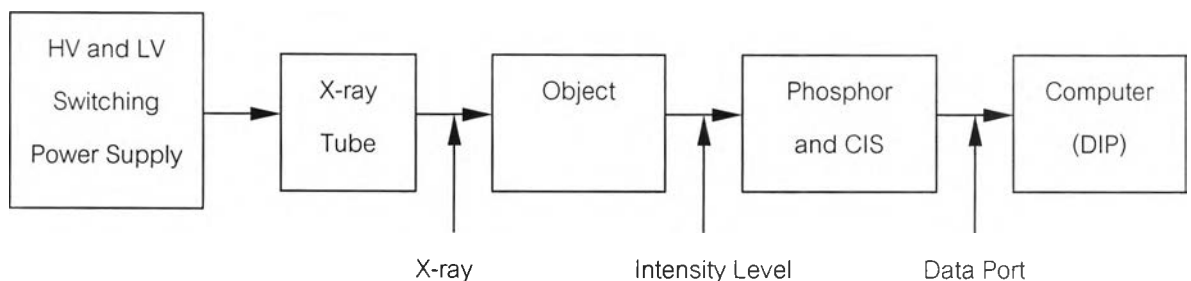
บทที่ 2

หลักการการทำงานของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกน โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับภาพชนิดซีไอเอสแบบแถว

2.1 หลักการทำงานของโดยรวมของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์แบบสแกน

ระบบสแกนภาพถ่ายรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นมีหลักการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนดังนี้

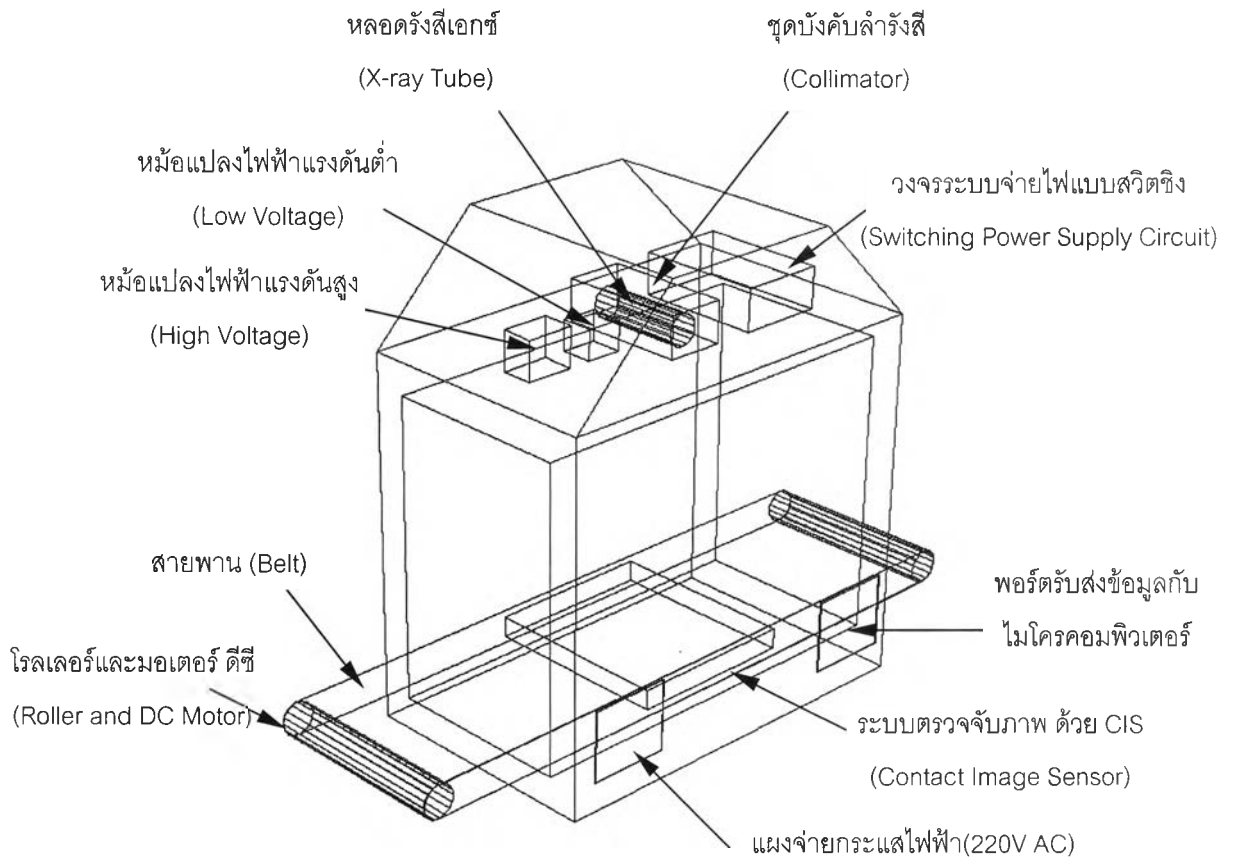
1. ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์
2. ระบบสแกนเพื่อสร้างข้อมูลภาพ
3. ระบบประมวลผลภาพแบบดิจิทัล
4. ระบบความปลอดภัยทางรังสีและระบบขับเคลื่อนวัตถุ



รูปที่ 2.1 แผนภาพการทำงานของระบบสแกนภาพถ่ายด้วยซีไอเอส (Contact Image Sensor: CIS)

การทำงานของระบบจะเริ่มจากระบบจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตชิง (Switching Power Supply) และระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำจะจ่ายไฟฟ้าไปยังหลอดรังสีเอกซ์ และไส้หลอด (Filament) ตามลำดับ ซึ่งผลดังกล่าวจะทำให้ไส้หลอดที่ความร้อนที่เกิดจากความต่างศักย์สูงของหลอดวิงกระทบเป้า (Target) และทำอันตรกิริยากับเป้า เกิดเป็นรังสีเอกซ์ขึ้นและรังสีเอกซ์จะถูกบังคับด้วยชุดบังคับลำรังสี (Collimator) ให้มีลักษณะออกมาเป็นรูปพัด (Fan-Shaped Beam) ส่องผ่านวัตถุที่เราต้องการตรวจสอบซึ่งจะได้ค่าความเข้มของการทะลุผ่านที่ต่างกันตามคุณสมบัติของวัตถุ เมื่อรังสีเอกซ์ที่มีค่าความเข้มแตกต่างกันไปตกกระทบกับสารเรืองรังสีเอกซ์ที่เคลือบไว้บนกระจกก็จะปรากฏเป็นแนวเส้นภาพ โดยข้อมูลภาพดังกล่าวจะถูกตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจจับภาพซีไอเอสแบบแถวและส่งสัญญาณภาพต่อไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ แล้วทำการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลต่อไป ทั้งนี้ระบบดังกล่าวข้างต้นมีความจำเป็นต้องมีระบบทางกลในการส่งวัตถุ

เข้าไปทำการสแกนและต้องมีระบบการกำบังรังสีที่เพียงพอเพื่อไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ ซึ่งสามารถออกแบบโครงสร้างเชิงแนวคิด (Conceptual Design) ของระบบได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงภาพรวมของระบบสแกน ภาพถ่ายรังสีเอกซ์โดยใช้อุปกรณ์ซีไอเอสแบบแถว

2.2 รายละเอียดการทำงานของระบบ

รายละเอียดการทำงานของระบบแต่ละส่วนมีดังนี้

2.2.1 ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์

ต้นกำเนิดรังสีเอกซ์ชนิดหลอดรังสีเอกซ์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

2.2.1.1 หลอดรังสีเอกซ์

2.2.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาสูงแบบสวิตติง (High Voltage Switching Power Supply)

2.2.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาต่ำสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์ (Filament) และวงจร

อิเล็กทรอนิกส์

2.2.1.1 หลอดรังสีเอกซ์

การทำงานของหลอดรังสีเอกซ์เริ่มจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำเข้าไปยังไส้หลอดทำให้ไส้หลอดร้อนขึ้นส่งผลให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวของไส้หลอดเกิด Space Charge หรือ Electron Cloud [7] ซึ่งไส้หลอดนี้โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็น Tungsten เนื่องจากด้วย Tungsten จะมีค่า Work function อยู่ในกลุ่มที่ต่ำ จึงสามารถปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่าย อีกทั้งยังมีจุดหลอมเหลวสูง (3370 degree C) ทำให้สามารถทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเกิดอันตรกิริยาได้ดีและเมื่อเร่งอิเล็กตรอนด้วยไฟฟ้าศักดาสูง (High Voltage) ทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากไส้หลอดซึ่งเป็นขั้วลบ (Cathode) จะวิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) โดยอิเล็กตรอนจะทำอันตรกิริยากับเป้า (Target) หรือ Anode (ใช้ Tungsten เนื่องจากสามารถระบายความร้อนได้ดีและอาจใช้ทองแดงช่วยระบายความร้อนจาก Tungsten อีกต่อหนึ่ง) แล้วปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา กระแสอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นภายในหลอดเรียกว่า กระแสหลอด (Tube Current, mA) โดยกระแสหลอดนี้จะเพิ่มหรือลดได้ด้วยการปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำที่จ่ายให้กับไส้หลอดและการปรับค่าไฟฟ้าศักดาสูงหรือ kV ของหลอด ในการปรับค่าไฟฟ้าศักดาต่ำและไฟฟ้าศักดาสูงของหลอดรังสีเอกซ์ต้องปรับให้สัมพันธ์กันเพื่อไม่ให้เกิดอิเล็กตรอนตกค้างที่ไส้หลอด (Residual Space Charge) [7] ทั้งนี้โดยภาพรวม เมื่อกระแสหลอดเพิ่มขึ้นก็ทำให้ปริมาณของรังสีเอกซ์ต่อวินาทีเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มของรังสี (Intensity) มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มไฟฟ้าศักดาสูง (kV) ของหลอดมากขึ้น ก็จะส่งผลทำให้อิเล็กตรอนมีพลังงานจลน์สูงขึ้น ส่งผลให้มีความสามารถในการทะลุทะลวง (Penetration) ของรังสีมีมากขึ้น สำหรับภาพของหลอดรังสีเอกซ์แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 เมื่อรังสีได้ถูกปลดปล่อยจากหลอดรังสีเอกซ์โดยผ่านออกมาทางหน้าต่าง (Window) ของหลอด จะถูกทำการจัดรูปแบบของรังสีได้โดยการใช้ชุดบังคับลำรังสี ซึ่งชุดบังคับลำรังสีนี้จะเป็นรูปลักษณะเป็นแนวเส้นเปิดซึ่งเมื่อลำรังสีผ่านจะถูกจัดรูปแบบเป็นรูปพัด (Fan-Shaped Beam)

อันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นกับเป้านั้นมี 2 แบบได้แก่

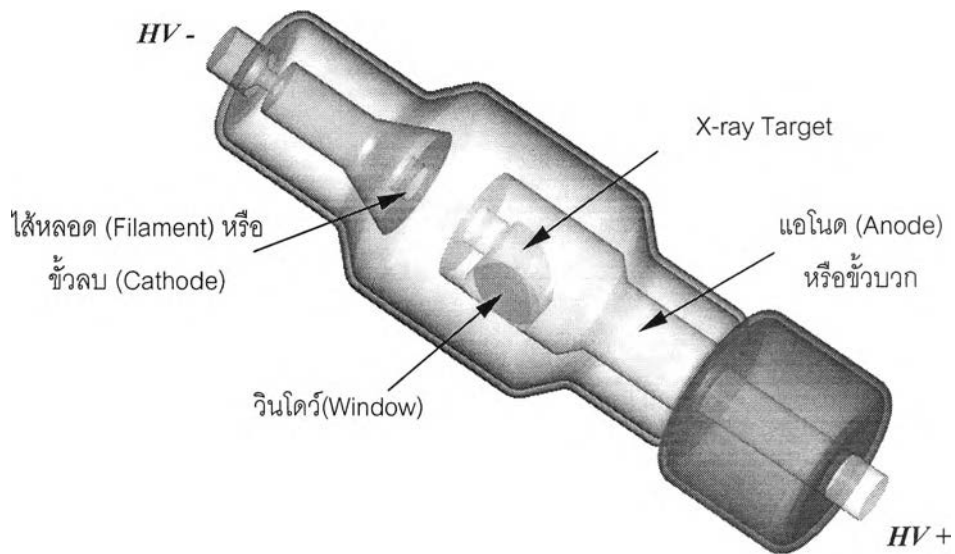
ก. อันตรกิริยาที่ทำให้เกิด Bremsstrahlung ซึ่งเป็นการเบี่ยงเบนเส้นทาง การเดินทางของอิเล็กตรอนอย่างกะทันหัน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่ออิเล็กตรอนวิ่งผ่านเข้าไปในบริเวณสนามไฟฟ้ารอบๆนิวเคลียสของอะตอมและเป็นผลให้มีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาโดยเป็นกระบวนการเปลี่ยนจากพลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนไปเป็นโฟตอน (Photon) อิเล็กตรอนที่วิ่งต่อไปจะมีพลังงานน้อยลง และถ้ายังเหลือพลังงานมากพอที่จะเกิดอันตรกิริยาอีก จึงทำให้พลังงานที่ได้เป็นพลังงานแบบต่อเนื่องซึ่งสามารถคำนวณค่าความยาวคลื่นน้อยที่สุดเนื่องจากผลของการเข้าทำ

อันตรกิริยาของอิเล็กตรอนในบริเวณสนามไฟฟ้าของนิวเคลียส แล้วปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาได้ดังสมการ (2.1)

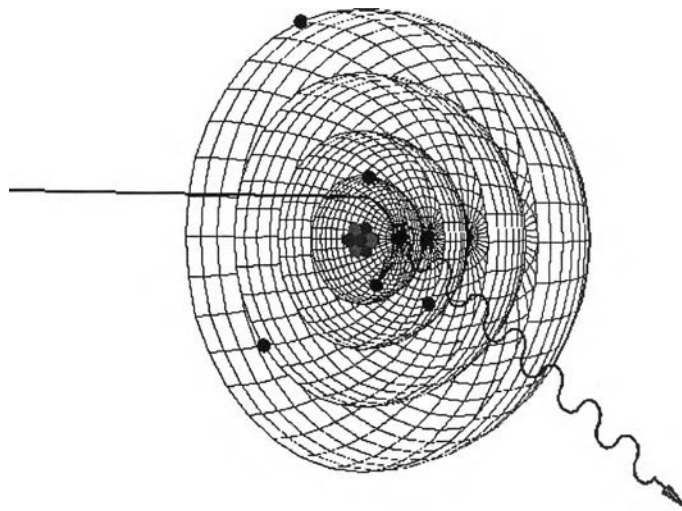
$$\lambda_{\min} = 12.4 / kVp \quad \text{Å} \quad (2.1)$$

โดยที่ λ_{\min} คือค่าความยาวคลื่นต่ำที่สุดที่ได้จากอันตรกิริยา

ตัวอย่างเช่นหากใช้ค่าไฟฟ้าศักดาสูงเท่ากับ 80 kV จะได้ รังสีเอกซ์ที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับ 0.155 Å ซึ่งจัดอยู่ในช่วงรังสีวินิจฉัยของทางการแพทย์ ($0.04 \text{ Å} - 1000 \text{ Å}$)[6]

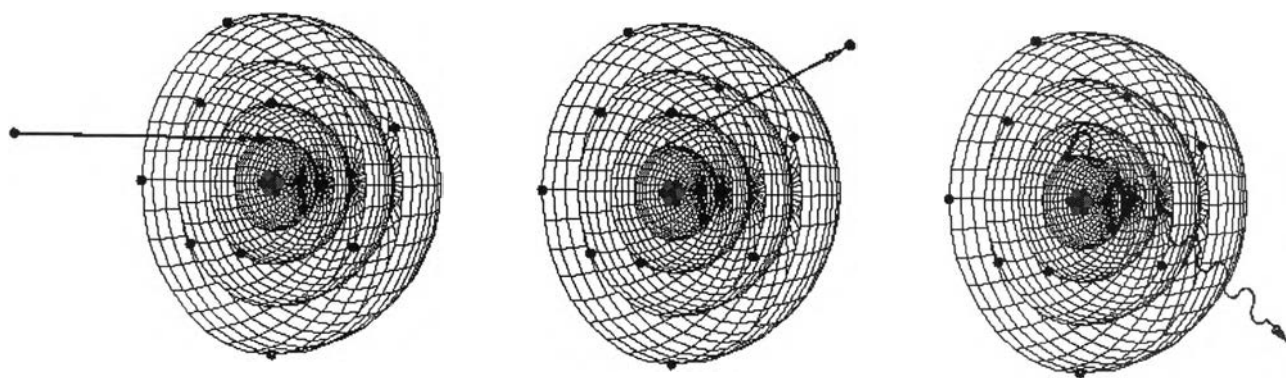


รูปที่ 2.3 แสดงภาพหลอดรังสีเอกซ์และส่วนประกอบของหลอด



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนที่เกิดการเบี่ยงเบนเนื่องจากสนามไฟฟ้าบริเวณนิวเคลียสและปลดปล่อยรังสีเอกซ์ หรือโฟตอนออกมา

ข. อันตรกิริยาที่ทำให้เกิด Characteristic X-ray ในรูปที่ 2.5 เป็นอันตรกิริยาที่เกิดจากการที่อิเล็กตรอนวิ่งเข้าไปชนกับอิเล็กตรอนในชั้นต่างๆของอะตอมให้หลุดออกไปแล้วอิเล็กตรอนในชั้นที่สูงกว่าเข้ามาแทนที่ในชั้นที่ต่ำกว่าจากนั้นจึงปลดปล่อยรังสีเอกซ์พลังงานเดี่ยวที่มีค่าพลังงานคงที่ (Mono energetic X-ray หรือ Characteristic X-ray) ออกมา เนื่องจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในวงถัดไป โดยทั่วไปพลังงานที่สามารถทำให้อิเล็กตรอนในชั้น K หลุดออกมาได้นั้นจะต้องมีพลังงานมากกว่าหรือเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการยึดเหนี่ยวระหว่างนิวเคลียสกับอิเล็กตรอนในชั้นนั้น[7] ซึ่งรังสีเอกซ์เฉพาะตัวนี้จะไม่มีการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ในช่วงรังสีเอกซ์พลังงานสูงมากนัก

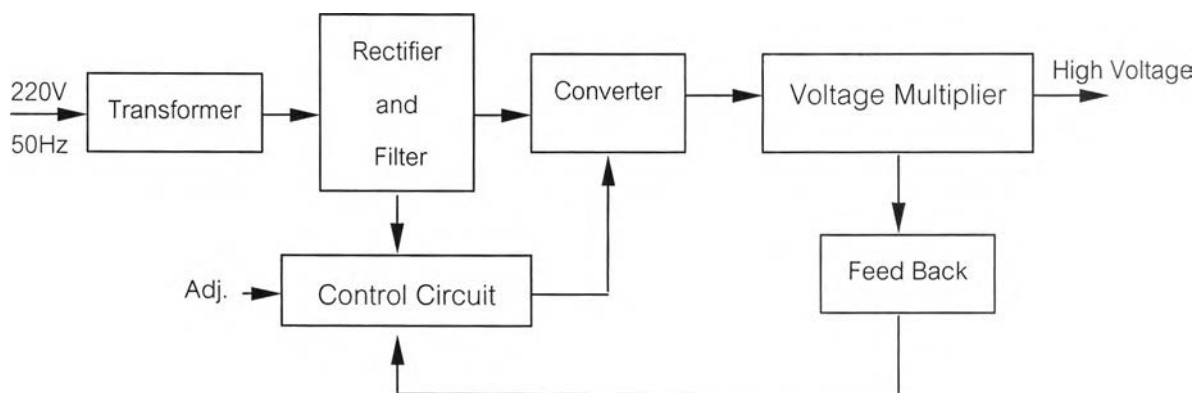


รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดอันตรกิริยาที่ทำให้เกิดรังสีเอกซ์แบบ Characteristic X-ray

2.2.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงแบบสวิตซิง (High Voltage Switching Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงแบบสวิตซิงเป็นแหล่งจ่ายไฟตรงแบบหนึ่งที่สามารถแปลงคักดาไฟฟ้าให้มีขนาดเพิ่มขึ้น (Step Up) หรือลดลง (Step Down) ได้เช่นเดียวกับแหล่งจ่ายไฟตรงแบบเชิงเส้น (Linear Power Supply) แต่มีข้อได้เปรียบกว่าตรงที่หม้อแปลงแบบสวิตซิงจะมีประสิทธิภาพที่สูงและมีขนาดเล็กกว่าแบบเชิงเส้น[8] ซึ่งหลักการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงแบบสวิตซิงสามารถแสดงได้ดังผังรูปที่ 2.6

จากแผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิง เมื่อทำการจ่ายคักดาไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์ให้ทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง (Transformer) หม้อแปลงก็ทำการลดระดับของคักดาไฟฟ้ากระแสสลับนี้ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งคักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้นี้จะถูกแปลงเป็นคักดาไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) แล้วถูกทำให้เรียบด้วยวงจรกรองกระแส (Filter) จากนั้นจะถูกแยกออกเป็นสองทางเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) และวงจรควบคุม (Control) โดยวงจรคอนเวอร์เตอร์ซึ่ง



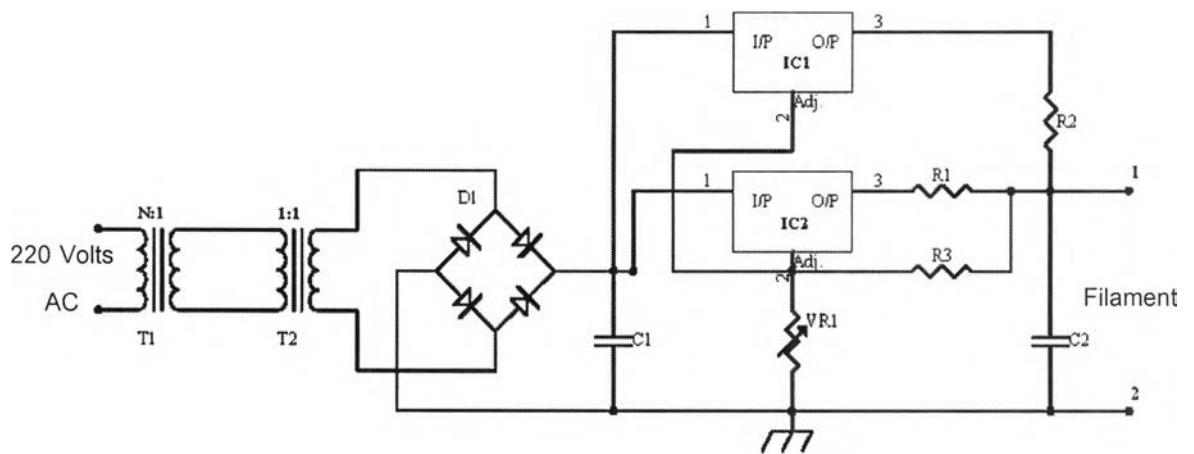
รูปที่ 2.6 แสดงแผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตติง

ประกอบไปด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง และเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หรือเพาเวอร์มอสเฟต (Power MOSFET) ทำหน้าที่สร้างไฟฟ้ากระแสสลับคิกดาสูงให้กับวงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier) เพื่อทำการเพิ่มศักดาไฟฟ้าขาออกให้สูงขึ้นเพียงพอสำหรับจ่ายแก่หลอดรังสีเอกซ์ ซึ่งโดยทั่วไป จะทวีแรงดันขึ้นประมาณ 5 เท่า และนอกจากนี้ยังช่วยแปลงไฟฟ้ากระแสสลับคิกดาสูงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงคิกดาสูงอีกด้วย ตัวอย่างเช่น หากมีไฟฟ้าคิกดาสูงด้านขาออกจากหม้อแปลงเป็น 10kV สามารถใช้วงจรทวีแรงดันเพิ่มค่าคิกดาไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 50 kV

วงจรรวมคุม (Control Circuit) มีหน้าที่ในการสร้างสัญญาณไฟฟ้าสำหรับควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อทำการควบคุมระดับไฟฟ้าคิกดาสูงด้านทางออกให้คงที่โดยอาศัยสัญญาณป้อนกลับ (Feed Back) จากไฟฟ้าคิกดาสูงด้านขาออก

2.2.1.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคิกดาต่ำสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์ (Filament) และวงจรมัลติเพล็กซ์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับไส้หลอดรังสีเอกซ์มีหลักการทำงานและองค์ประกอบดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยหม้อแปลงไฟฟ้า T1 ทำหน้าที่ลดคิกดาไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ให้เป็นคิกดาไฟฟ้าที่เหมาะสมเพื่อใช้งานกับไส้หลอดรังสีเอกซ์ (Filament) จากนั้นจะต่อไปยัง หม้อแปลงไฟฟ้า T2 เป็นหม้อแปลงแบบ Isolation Transformer ชนิด Toroid ซึ่งมีหน้าที่ป้องกันผลของไฟฟ้าคิกดาสูงด้าน Anode ที่จะมาทำอันตรายต่อวงจรมัลติเพล็กซ์อื่นๆ หลังจากนั้นไฟฟ้ากระแสสลับคิกดาต่ำที่ได้จาก T2 จะถูกแปลงให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยไดโอดบริดจ์ D1 และ คาปาซิเตอร์ C1 โดยมีไอซีเรกกูเลเตอร์ IC1 และ IC2 ทำหน้าที่รักษาคิกดาไฟฟ้ากระแสตรงให้กับไส้หลอดซึ่งสามารถปรับค่าคิกดาไฟฟ้าที่จ่ายให้กับไส้หลอดด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 เพื่อให้ได้คิกดาไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน



รูปที่ 2.7 รูปแสดงแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์เพื่อจ่ายแก่หลอดรังสีเอกซ์ (Filament)

นอกจากนี้ยังมีส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์อีกชุดหนึ่ง เพื่อใช้สำหรับจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนต่างๆ ของระบบ

2.2.2 ระบบสแกนเพื่อสร้างข้อมูลภาพ

2.2.2.1 หลักการถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์

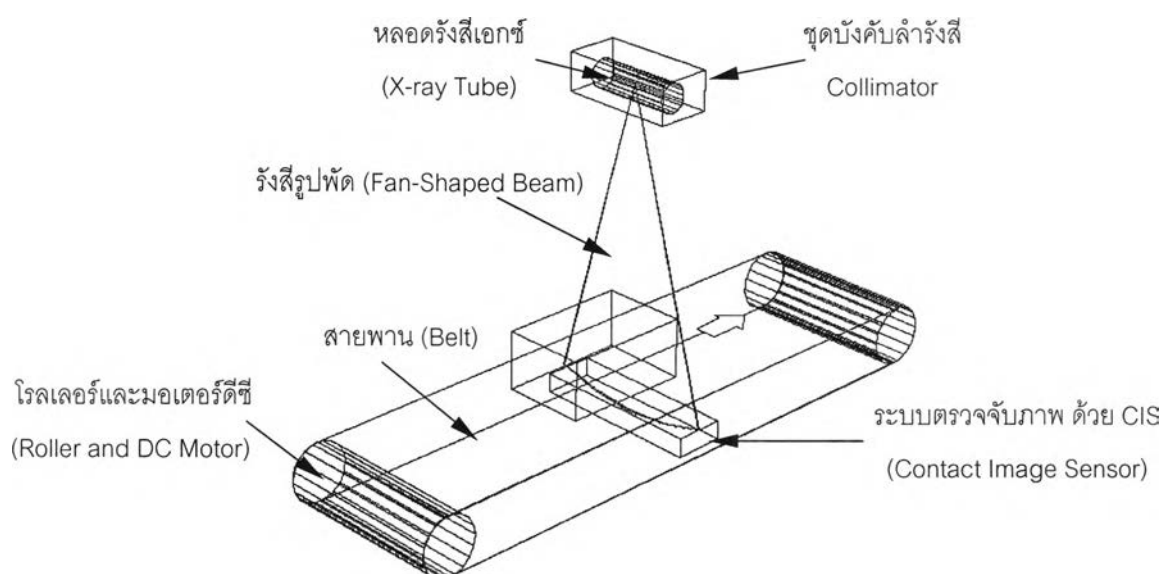
รังสีเอกซ์ที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดรังสีเอกซ์นั้นจะมีความเข้มของรังสีเป็นไป ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งจากสมการจะแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มของรังสี(I) ที่ได้จากหลอดรังสีเอกซ์กับค่าของกระแสหลอด (mA) ค่าเลขอะตอม (Z) ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำกรปรับ (V) และค่าคงที่ของคุณสมบัติของวัตถุ (k)

$$I = k \text{ mA } Z V^2 \quad (2.2)$$

โดยที่ความเข้มของรังสีแบบ Polyenergetic X-ray Beam ที่ใช้ kV ที่กำหนด จะมีคุณภาพประมาณ 1/3 ถึง ครึ่งหนึ่งของพลังงานสูงสุด เมื่อเทียบกับ Monoenergetic x-ray beam เช่น Polyenergetic x-ray beam ขนาด 120 kV จะเท่ากับ 50 keV ของ Monoenergetic x-rays [7]

ทั้งนี้หากพิจารณาถึงปัจจัยของคุณภาพของภาพที่ได้ (Image Quality Factor) นั้น ค่า kV จะมีผลต่อความเปรียบต่าง (Contrast) ของภาพ ค่า mA จะมีผลต่อความไว (Sensitivity) ของอุปกรณ์รับรังสีหรือดีเทคเตอร์และขนาดของโฟกัสจะเกี่ยวกับความคมชัดของภาพ (Sharpness) นอกจากนี้ค่า kV และ mA ยังเป็นตัวแปรสำคัญในเรื่องความปลอดภัยทางรังสีและการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่หลอดรังสีด้วย

เมื่อรังสีเอกซ์ผ่านชุดบังคับลำรังสีจะถูกบังคับให้ออกมาในลักษณะของรังสีรูปพัด และเมื่อส่องผ่านไปยังวัตถุจะถูกลดทอนรังสีลงด้วยค่าความหนาและคุณสมบัติของวัตถุนั้นๆ อันได้แก่ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน (Attenuation Coefficient) และ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass Attenuation Coefficient) ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 รูปแสดงรังสีเอกซ์รูปพัดและการสแกนภาพรังสีเอกซ์ด้วยซีไอเอส

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์ (Attenuation Coefficient) คือ โอกาสของปริมาณรังสี (Radiation Intensity) ซึ่งถูกลดทอนลง (Attenuation) เมื่อผ่านวัตถุที่มีความหนาเท่าที่กำหนดให้ หน่วยของความหนาของ Absorber อาจเป็นหน่วยของความยาวหรือเป็นมวล (mass) ต่อหน่วยของพื้นที่เช่น g/cm^2 [7]

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้น (Linear Attenuation Coefficient: μ) คือ การวัดปริมาณของการลดทอนต่อความหนาของวัตถุเป็นเซนติเมตร ทำให้เราทราบว่ามีรังสีลดลงเท่าใดต่อความหนาของวัตถุจำนวนหนึ่ง หน่วยของสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้นคือหน่วยต่อ cm หรือ cm^{-1} และใช้เฉพาะ Monochromatic Radiation ที่เป็น Homogeneous Beam ซึ่ง

สสารต่างชนิดกันจะมี สัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้นต่างกัน เมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์ หรือ โฟตอนเปลี่ยนค่าไป ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้นก็จะเปลี่ยนไปด้วย ตามสมการของเรมเบิร์ต (Lambert) ที่เกี่ยวข้องกับความสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้นคือ [7]

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.3)$$

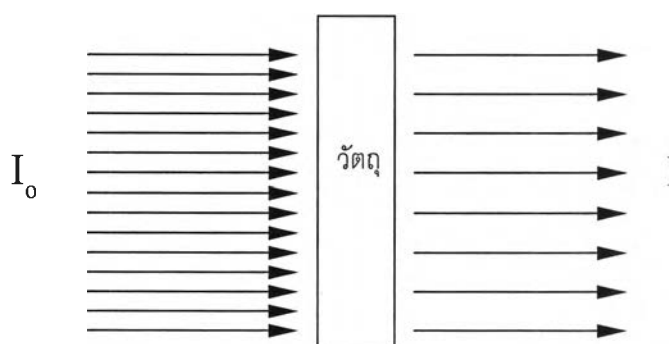
โดยที่ I = ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่าน

I_0 = ปริมาณความเข้มของรังสีเอกซ์ ก่อนการทะลุผ่าน

μ = ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนรังสีเอกซ์เชิงเส้น

x = ความหนาของ absorber เป็นเซนติเมตร

$$\text{หรือ } \mu = \frac{0.693}{\text{ความหนาของ วัตถุที่ทำให้รังสีผ่าน 50\% (HVL)}}$$



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์

2.2.2.2 สารเรืองรังสีเอกซ์

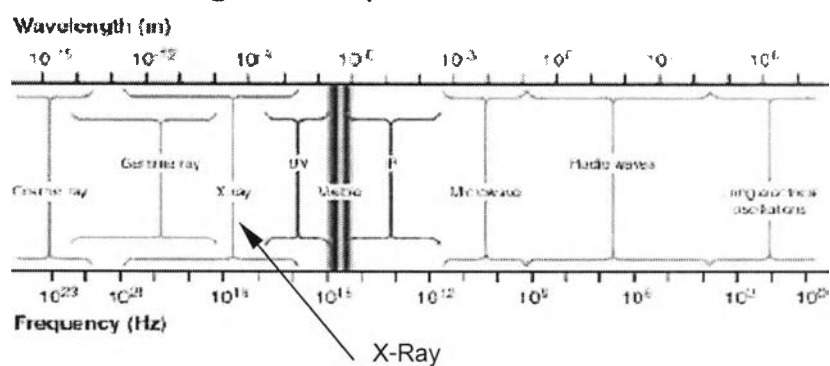
เมื่อรังสีผ่านวัตถุที่มีความหนาต่างๆกัน จะได้รังสีมีความเข้มที่แตกต่างกัน เมื่อรังสีมาตกกระทบกับสารเรืองรังสีเอกซ์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรังสีเอกซ์ให้เป็นแสงที่สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) ก็จะทำให้เกิดเป็นภาพที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งจากแผนภาพ Spectrum ในรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงความยาวคลื่นที่ต่างกันของรังสีเอกซ์กับความยาวคลื่นของแสงที่มองเห็นได้ โดยทั่วไปสารเรืองรังสีเอกซ์มีด้วยกันหลายชนิด ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้สารเรืองรังสีเอกซ์แบบ P43 ซึ่งมีสูตรทางเคมีคือ $(\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}:\text{Tb}^{3+})$ และมีคุณสมบัติดังนี้ [10]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติสารเรืองรังสีเอกซ์แบบ P43

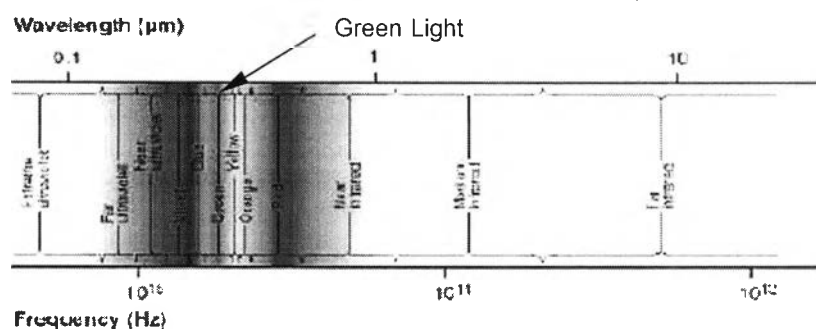
Phosphor Type	P43
Chemical Composition	Gd ₂ O ₂ S: Tb ³⁺
Typical Peak Wavelength	545nm (Range 360nm-680nm)
Fluorescent Color	Green
Chromaticity Coordinates (X, Y)	(0.344,0.568)
Decay Time	1ms
Remark	Excellent Scintillator for X-ray<250nm Emission efficiency: 13% ,Effective atomic #59.5 Absorption characteristics: K-edge, 50.22 keV

โดยมีค่าการแปลงพลังงาน (Energy Conversion) สูงเมื่อเทียบกับสารฟอสเฟอร์ (Phosphor) ชนิดอื่น ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Energy Conversion กับ ค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

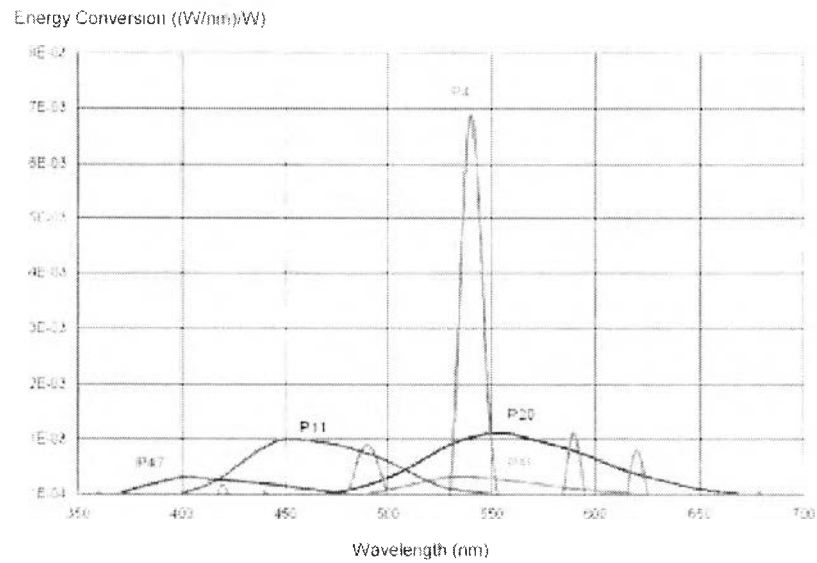
Electromagnetic spectrum



Light spectrum (visible 0.4 - 0.7 μm)

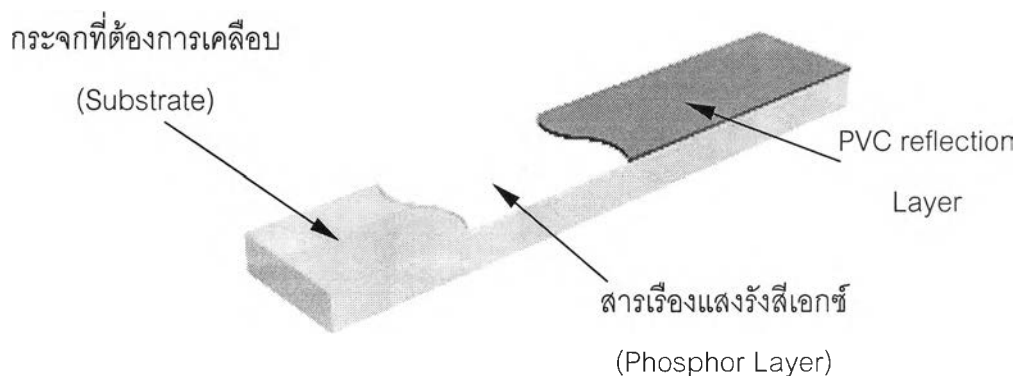


รูปที่ 2.10 แสดง Spectrum ของแสงที่มองเห็นได้และรังสี ที่มีในธรรมชาติ



รูปที่ 2.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Energy Conversion กับ ค่าความยาวคลื่น (Wavelength)

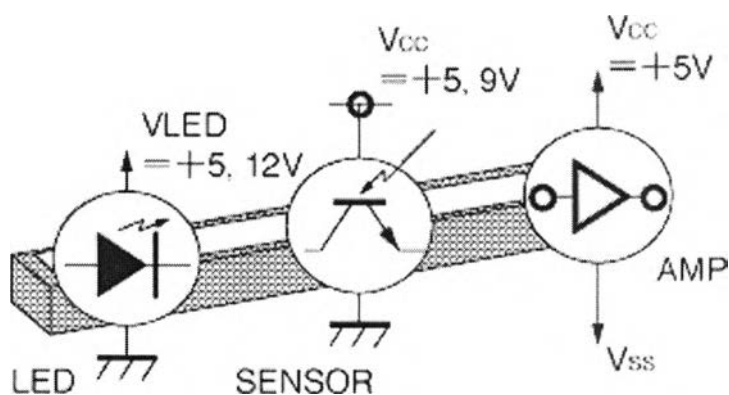
สารเรืองรังสีเอกซ์ดังกล่าวจะถูกเคลือบบนกระจกโดยใช้สารเชื่อมประสาน (Adhesive) ดังรูปที่ 2.12 และเมื่อสารเรืองรังสีเอกซ์ที่เคลือบบนกระจกทำอันตรกิริยากับรังสีเอกซ์จะทำให้เกิดเป็นภาพเรืองรังสีเอกซ์ ซึ่งภาพดังกล่าวจะถูกใช้เป็นตัวกำเนิดแสงให้แก่ซีไอเอส (Contact Image Sensor: CIS) แทนตัวกำเนิดแสงของซีไอเอสเดิม โดยการสแกนจะให้ภาพขาวดำแบบเกรย์สเกล (Grayscale)



รูปที่ 2.12 แสดงแผ่นกระจกที่ฉาบด้วยสารเรืองรังสีเอกซ์ซึ่งด้านบนจะวางแผ่นพีวีซีเพื่อช่วยในการสะท้อนแสงกลับไปยังซีไอเอส

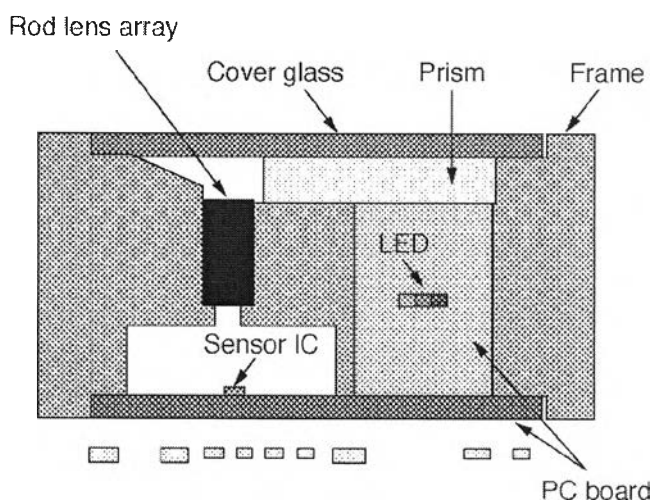
2.2.2.3 หลักการทำงานของ ซีไอเอส (Contact Image Sensor: CIS)

หลักการทำงานของซีไอเอสจะเป็นการเปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า (Photoelectric Conversion) โดยอาศัยลักษณะการทำงานของ Photo transistor ซึ่งสัญญาณที่ได้จะถูกขยายและแบ่งออกเป็นระดับของสัญญาณแบบเกย์สเกล 256 ระดับ ความเข้มของสัญญาณภาพในแต่ละจุดภาพ (Pixels) จะถูกส่งออกมาในลักษณะของข้อมูลแบบอนุกรม (Serial) เพื่อส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบการทำงานของซีไอเอส[12]

หลักการโดยทั่วไปของ Contact Image Sensor ที่มีอยู่ใน Scanner มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.13 และมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.14 แผง LED ถูกใช้เป็นตัวกำเนิดแสง และแสงจะเคลื่อนผ่าน Prism ไปกระทบกับแผ่นเอกสารที่จะทำการสแกน แสงที่สะท้อนกลับมาจะวิ่งผ่าน Lens Array และกลับไปตกลงบน Sensor ตรงตำแหน่งโฟกัสพอดี ความกว้างของ Contact sensor จะเท่ากับความกว้างของกระดาษ A4 พอดี ดังนั้น จึงสามารถที่จะ ตั้งค่าระยะห่างระหว่างหน้ากระดาษกับตัว Sensor ให้ห่างกันเพียงประมาณ 1 cm ได้ อีกทั้งเนื่องจากแต่ละบิต (Bit) ของตัวจับสัญญาณ (Sensor) จะมีพื้นที่มาก ดังนั้นถึงแม้ว่าแสงจากแหล่งกำเนิดแสงที่เป็นแบบแอลอีดี (LED) ที่มีความสว่างลดลงก็ยังสามารถทำให้ได้กำลังของเอาต์พุต (Output) อย่างเพียงพอ และสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งผ่านออกทางพอร์ต (Port) ของเครื่องสแกนเนอร์ไปยังเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างภาพต่อไป



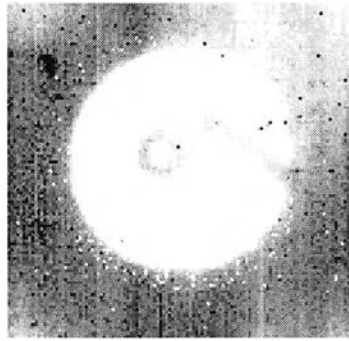
รูปที่ 2.14 แผนภาพอุปกรณ์ตรวจจับภาพแบบซีไอเอส [12]

2.2.3 ระบบประมวลผลภาพแบบดิจิทัล

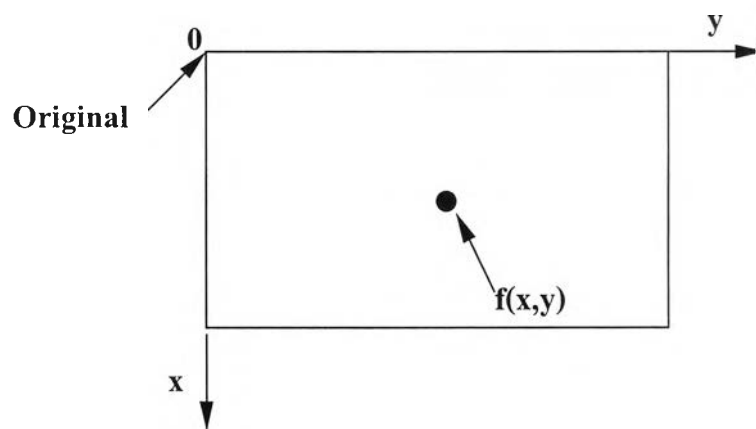
ภาพที่ได้จากการสแกนอาจจะมีค่าความเปรียบต่าง (Contrast) หรือความสว่าง (Brightness) ไม่เพียงพอในการแยกแยะทางสายตา หรืออาจจะมีการบิดเพี้ยนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสายพานผ่านตัวซีไอเอส ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้ภาพแบบดิจิทัล และทำการประมวลผลภาพแบบดิจิทัลเพื่อให้สามารถตรวจสอบวัตถุได้ดียิ่งขึ้น

2.2.3.1 หลักการทางภาพแบบดิจิทัล

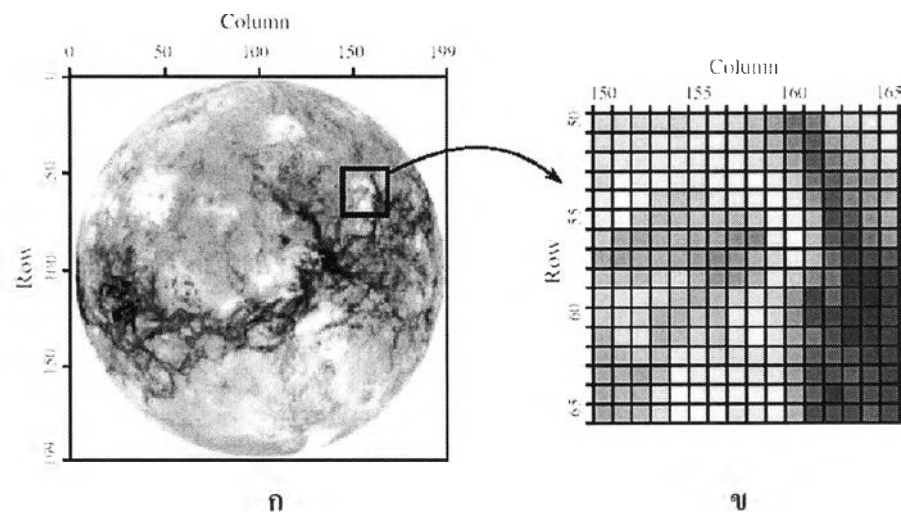
ภาพทางดิจิทัลจะประกอบไปด้วย จุดภาพ (Pixels) ย่อยๆ เช่น ภาพ 600x800 Pixels จะมีจำนวน จุดภาพทางด้านแนวกว้างเท่ากับ 600 Pixels และทางด้านแนวยาว 800 Pixels ตามลำดับ ซึ่งจุดภาพดังกล่าวนี้จะเก็บข้อมูลของระดับความเข้มของภาพเอาไว้ เช่นในกรณีของ ภาพแบบขาวดำ จะมีระดับความเข้มเริ่มจากสีดำไปขาวอยู่ทั้งหมด 256 ระดับ (8bit, 255 คือ สีขาว 0 คือสีดำ) เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างภาพ ลักษณะแกนจุดเริ่มต้นของภาพ และตัวอย่างค่าความเข้มของแต่ละจุดภาพดังแสดงในรูปที่ 2.15, 2.16, 2.17 และ 2.18 ตามลำดับ



รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างภาพของน็อดและสกรูที่ได้จากการสแกนโดยรังสีเอกซ์ ด้วยซีไอเอสซึ่งจะเห็นวงกลมสว่างของรังสีที่ตกกระทบบนแผ่นฉาบสารเรืองรังสีเอกซ์



รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะของแกนภาพ โดยที่ด้านบนซ้ายจะเป็นตำแหน่ง (0,0) และแกน x เป็นแกนในแนวตั้ง แกน y จะไปทางด้านขวา และตำแหน่ง x และ y ของจุดภาพ (Pixels) [13]



รูปที่ 2.17 ก) แสดงภาพต้นแบบที่พิจารณา ข) แสดงส่วนของภาพที่นำมาขยายจะเห็นเป็นจุดภาพกระจายอยู่ ซึ่งจุดภาพเหล่านี้ จะเก็บข้อมูลของระดับความเข้มสี ในรูปแบบภาพ Gray Scale (0-255) [14]

		Column															
		150				155				160				165			
Row	50	183	181	181	184	177	200	203	189	159	135	94	105	160	174	101	196
	51	186	195	190	195	191	205	216	206	174	153	112	80	134	157	174	196
52	194	196	198	201	206	209	215	216	199	175	140	77	166	142	170	186	
53	184	212	200	204	201	202	214	214	214	205	173	102	84	120	134	159	
54	202	215	203	179	165	165	199	207	202	208	197	129	73	112	131	146	
55	203	208	166	159	160	168	166	157	174	211	204	158	69	79	127	143	
56	174	149	143	151	156	148	146	133	118	203	208	162	81	158	101	125	
57	143	137	147	153	150	140	121	133	157	184	203	164	94	59	66	80	
58	164	165	159	179	188	159	126	134	150	199	174	119	130	41	41	58	
59	173	187	193	181	167	151	162	182	192	175	129	60	88	47	37	50	
60	172	184	179	153	158	172	163	207	205	188	127	63	56	43	42	53	
61	156	191	196	139	167	195	178	203	214	201	143	101	69	38	44	52	
62	154	163	175	165	207	211	197	201	201	199	138	79	76	67	51	53	
63	144	156	143	162	215	212	211	209	197	198	133	71	69	77	63	53	
64	140	151	150	185	215	214	210	210	211	209	135	80	45	69	66	60	
65	135	143	151	179	213	216	214	191	201	205	138	61	59	61	77	63	

รูปที่ 2.18 แสดงระดับความเข้มของภาพในรูปที่ 2.17 ข) เป็นข้อมูลเชิงตัวเลข[14]

การประมวลผลภาพแบบดิจิทัลนั้นมีหลายวิธี บางวิธีก็ใช้รูปแบบการประมวลผลจากคณิตศาสตร์ เช่น การทำ DFT (Discrete Fourier Transform), FFT (Fast Fourier Transform) เป็นต้น แต่บางวิธีก็ใช้วิธีการใส่หน้ากาก (Mask) ทาบลงไปในแต่ละจุดของภาพและจุดข้างเคียง (Neighborhood) และทำการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งส่วนของภาพที่ต้องการ ซึ่งหลักการดังกล่าวจะแบ่งรูปแบบการประมวลผลจุดภาพเป็น จุดภาพที่พิจารณา และจุดภาพข้างเคียงที่นำมาประมวลผลร่วม จุดภาพข้างเคียงที่นำมาทำการประมวลผลอาจมีหลายรูปแบบเช่น ข้างเคียง 4 จุดภาพ และข้างเคียงแบบ 8 จุดภาพ (เป็นเมตริก 3x3) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.19 โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งการประเมินผลแบบดิจิทัลเป็น 2 แบบ คือ การประมวลผลจุดต่อจุด (Point processing) และการประมวลผลแบบใช้พื้นที่โดยรอบ (Area processing)

หลักการทำงานของหน้ากาก (Mask)

การทำงานของหน้ากากที่แสดงในรูปที่ 2.19 และ รูปที่ 2.20 จะทำงานเป็นชนิดประมวลผลในรูปแบบพื้นที่โดยรอบ ของ Pixels ที่ทำการประมวลผลโดยจะใช้จุด Pixels โดยรอบมาช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะนำค่าคงที่เข้าไปคูณกับค่า Gray Level ของ Pixels ณ.จุด Pixels ใดๆ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าใหม่ของ Pixels นั้นๆ โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณดังสมการที่ 2.4

$$Z'_5 = W_1Z_1 + W_2Z_2 + \dots + W_5Z_5 + \dots + W_8Z_8 + W_9Z_9 \tag{2.4}$$

โดยที่ W_1, W_2, \dots, W_9 คือ ค่าคงที่ของน้ำหนักที่ใช้
 Z_1, Z_2, \dots, Z_9 คือ ค่าระดับสีเทาของจุดต่างๆที่ใช้ในการประมวลผล
 ของจุดสี Z_5
 Z'_5 คือ ค่าระดับสีเทาใหม่ที่ได้จากการประมวลผล ณ.จุดสี Z_5

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

W_1	W_2	W_3
W_4	W_5	W_6
W_7	W_8	W_9

รูปที่ 2.19 ลักษณะของน้ำหนักแบบ 3X3 และลักษณะของจุดภาพข้างเคียง 8 จุดภาพ ซึ่งจะทาบลงบน Pixels กลาง (Z_5) เพื่อทำการประมวลผลจุดภาพ ณ.จุดนั้น แต่ละจุดไปจนครบทั้งภาพ

-1	-1	-1	-1	2	-1
2	2	2	-1	2	-1
-1	-1	-1	-1	2	-1
	ก			ข	

รูปที่ 2.20 ก)รูปแบบของ Mask แบบ Horizontal ข) แบบของ Mask แบบ Vertical ในการตรวจจับแนวเส้นของภาพ (Line Detection)

2.2.3.2 การประมวลผลภาพเชิงดิจิตอล

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการประมวลผลภาพเชิงดิจิตอล (Digital Image Processing, DIP) และ Image Enhancement ในบาง รูปแบบ เช่น

ก. การทำภาพแบบเนกาทีฟ (Negative)

เป็นการเปลี่ยนค่าความเข้มของภาพให้มีค่าตรงกันข้ามเพื่อให้เกิดการสลับสีจากขาวเป็นดำจากดำเป็นขาว ตัวอย่างเช่น สลับค่าความเข้มจาก 0 (สีดำ) ไปเป็น 255 (สีขาว) ดังรูปที่ 2.21 ในระดับแบบเกย์สเกล เป็นต้น โดยสมการที่ใช้คือ

$$Z' = 255 - Z \quad (2.5)$$

โดยที่ Z คือ ค่าระดับสีเทา (Gray scale level) ของจุดสีที่ใช้ในการประมวลผล
 Z' คือ ค่าระดับสีเทาใหม่หลังการประมวลผล



รูปที่ 2.21 แสดง การประมวลภาพแบบ Negative

ข. การปรับความเปรียบต่าง (Contrast)

เป็นการปรับเพื่อเพิ่มความแตกต่างของระดับเกย์สเกลภาพให้มากขึ้น เพื่อที่จะได้ภาพที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังตัวอย่างในรูป 2.22 ซึ่งค่าระดับสีใหม่จะคำนวณโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างจากค่าเดิม



รูปที่ 2.22 แสดง การประมวลภาพในการปรับความเปรียบต่างให้สูงขึ้น

ค. การปรับความสว่างของภาพ (Brightness)

เป็นการปรับความสว่างของภาพให้พอดังรูปที่ 2.23 เพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ดี ซึ่งค่าระดับสีใหม่จะคำนวณโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเปรียบต่างจากค่าเดิม



รูปที่ 2.23 แสดง การประมวลภาพในการปรับความสว่างของภาพให้เหมาะสม

ง. การปรับผลจากการบิดเบี้ยวของภาพจากการเคลื่อนที่ของสายพาน (Uniform Motion Blur)

ในรูปที่ 2.24 เป็นลักษณะที่ภาพจะเกิดการบิดเบี้ยวไป เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสายพานที่ไม่เหมาะสมสามารถปรับได้โดยการนำเอาจุดภาพหนึ่งออกจากจุดภาพที่บิดเบี้ยว (คล้ายกับการเก็บตัวอย่าง) ทั้งนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการปรับแก้ลักษณะดังกล่าวแล้ว โดยปรับความเร็วของมอเตอร์สายพาน



รูปที่ 2.24 แสดงรูปแบบการปรับผลจากการบิดเบี้ยวของภาพจากการเคลื่อนที่ของสายพาน

จ. การทำการตรวจจับขอบของภาพ (Edge Detection)

เป็นการทำงานโดยยกระดับภาพบริเวณขอบให้แยกออกมาดังรูปที่ 2.25 ซึ่งจะทำให้สามารถเห็นรูปร่างของวัตถุได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยทั้งนี้สามารถทำได้โดยการใส่หน้ากากในรูปที่ 2.26 ลงไป



รูปที่ 2.25 แสดงการประมวลผลภาพเพื่อตรวจสอบขอบของภาพที่พิจารณา

-1	-1	-1
-1	8	-1
-1	-1	-1

รูปที่ 2.26 แสดงหน้ากากที่ใช้ในการประมวลผลแบบ Strong Laplacian Edge Detection

จ. การใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) และตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)

ภาพโดยทั่วไปจะมีส่วน (Component) ของความถี่สูงอยู่ที่บริเวณขอบของภาพและส่วนของความถี่ต่ำอยู่ภายในรูปภาพ หากใช้ตัวกรองแบบความถี่ต่ำผ่านจะทำให้ภาพดูนุ่มนวลขึ้น และ หากใช้แบบความถี่สูงผ่านจะเป็นการเร่งขอบภาพให้ชัดยิ่งขึ้น ซึ่งหน้ากากของตัวกรองแบบความถี่สูงมีรูปแบบดังรูปที่ 2.27

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

รูปที่ 2.27 แสดงหน้ากากที่ใช้ในการประมวลผลแบบ Strong High Pass Filter

2.2.4. ระบบความปลอดภัยทางรังสีและระบบขับเคลื่อนวัตถุ

ในการทำงานทางรังสีมีความจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ที่มีความปลอดภัยจากรังสี ต้องมีการกำบังที่ดีพอซึ่งสามารถป้องกันรังสีที่รั่วไหลออกมาได้ ซึ่งตามมาตรฐาน U.S. F.D.A., Center for Devices and Radiological Health Standards for Cabinet x-ray Systems (Federal Standard 21-CFR 1020.40) ได้กำหนดไว้ว่าอัตราการรั่วไหลของรังสีสูงสุดต้องน้อยกว่า 0.1 mR/hr และสำหรับเพื่อความปลอดภัยของฟิล์มต้องมีค่าน้อยกว่า 0.5 mR/hr. และต้องเป็นไปตามมาตรฐานด้านความปลอดภัยทางรังสีของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะเน้นเพื่อทำงานในการตรวจสอบวัตถุซึ่งจะให้การป้องกันให้เหมาะสมเพียงพอในเบื้องต้น สำหรับระบบการทำงานของสแกนจะต้องมีการควบคุมมอเตอร์ของสายพานและสแต็ปมอเตอร์ (Stepping motor) ของซีไอเอสด้วย