

การหาค่า kVp และ mAs ที่เหมาะสมในการเอกซเรย์ยาเสพติด ชนิดแอมเฟตามีน

Determination of Kilovoltage Peak (KVp) and The Amount of X-Ray Incident (mAs) Of X-Ray. (Amphetamine)

ขยทุท พูลเพิ่ม¹ สุพันธ์ ตั้งจิตกุศลมัน²

¹สาขาวิศวกรรมป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : 55613965@kmitl.ac.th

²ภาควิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : ktsupan@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

การเอกซเรย์ เป็นวิธีการที่ใช้ในทางการแพทย์และความมั่นคงทางทหาร เพื่อใช้ตรวจสอบวัตถุต้องสงสัยยาเสพติดชนิดแอมเฟตามีนให้สามารถแสดงให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน โดยการกำหนดค่าที่ใช้ควบคุมพลังงานของรังสีเอกซเรย์เพื่อที่จะหาปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของวัตถุซึ่งจะทำให้ได้ภาพที่ดีและสามารถนำไปวินิจฉัยได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยฉบับนี้กล่าวถึงการออกแบบและสร้างวิธีการหาคำนวณค่าที่เหมาะสมที่ใช้ควบคุมพลังงานของรังสีเอกซเรย์กับยาเสพติดชนิดแอมเฟตามีน โดยใช้หลักการคำนวณทางรังสีเทคนิคหาค่าความต่างศักย์ที่สูงที่สุดของหลอดเอกซเรย์ (KVp) และปริมาณของรังสีเอกซเรย์ที่เกิดขึ้น (mAs.) ที่เหมาะสมกับวัตถุ โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาวัตถุต้องสงสัยชนิดแอมเฟตามีนเป็นหลัก เนื่องจากการเก็บสถิติของเจ้าหน้าที่พบว่ามีการลักลอบขนส่งปิ่นจำนวนมากที่สุด ผลการจากวิจัยจะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วและวินิจฉัยได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : เอกซเรย์, รังสีเทคนิค, ยาเสพติด, แอมเฟตามีน, kVp, mAs

Abstracts

The X-ray is the means used in the medical and military security. In order to examine suspicious objects drug amphetamine type. To be able to show a picture clearly. The configuration used control the power of X-ray. In order to find the right amount with the size of the object, which will make the good condition and can be used to diagnose correctly.

This thesis is discussed. The design method for calculating reasonable values used to control the power of X-ray radiation with drug Amphetamine type. By using the principle of computational techniques for radiation values of voltage at the highest of the X-ray tube (KVp). And the amount of X-ray radiation occurs (mAs). Suitable for Object. This study investigates the suspected type of amphetamine. Because of the statistics were found to be smuggling is the highest. Results from research to help the staff can work easily, quickly and accurately.

Keywords: X-Ray, Technical radiation, Narcotic, Amphetamine, kVp, mAs

1. บทนำรังสี

ในปัจจุบันการกลไกของยานพาหนะ, การก่อการร้าย และ รวมถึงการลักลอบค้ายาเสพติดนั้นมักใช้ยานพาหนะในการขนส่งโดยจะซุกซ่อนสิ่งผิดกฎหมายเหล่านี้มาในยานพาหนะต่างโดยมีการปิดดัดแปลงยานพาหนะเพื่อหลบตาเจ้าหน้าที่ได้อย่างแนบเนียนมากขึ้น ซึ่งการตรวจค้นยานพาหนะต้องสงสัยด้วยตาเปล่านั้นอาจจะทำให้การตรวจค้นนั้นไม่ละเอียดเท่าที่ควร ทางผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงปัญหานี้และได้คิดถึงวิธีการประยุกต์ใช้ระบบเอกซเรย์มาเพื่อช่วยในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ให้มีประสิทธิภาพในการตรวจค้นยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัย จะทำการกำหนดค่า kVp และ mAs ของเครื่องเอกซเรย์ที่เหมาะสมในการเอกซเรย์วัตถุต้องสงสัย เพื่อที่จะทำให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มี Resolution, Contrast และคุณภาพของภาพที่ดี สามารถเห็นรายละเอียดของภาพเอกซเรย์ได้ชัดเจนวัตถุต้องสงสัยได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ทำให้การวินิจฉัยมีความถูกต้องมากขึ้น

โดยในการวัดความหนาของวัตถุต้องสงสัย จะต้องใช้อุปกรณ์วัดความหนา และต้องใช้เวลาในการวัดช่วงหนึ่ง ซึ่งทำให้เสียเวลา ที่อาจเกิดข้อผิดพลาดของแต่ละบุคคล ดังนั้นในการกำหนดค่า kVp และ mAs จึงยังอาศัยการคาดคะเนขนาดของวัตถุต้องสงสัยโดยสายตา แล้วกำหนดค่า kVp และ mAs โดยนักรังสี ทำให้เกิดความผิดพลาดในการกำหนดค่า kVp และ mAs ที่เหมาะสม ภาพที่ได้จึงมีคุณภาพด้อยลงจากความเป็นจริง ทำให้อาจเกิดข้อผิดพลาด ในการวินิจฉัยได้ ดังนั้นเพื่อให้มีการกำหนดค่า kVp และ mAs ที่ถูกต้องจึงต้องมีการวัดขนาดความหนาของวัตถุต้องสงสัยเพื่อให้ได้ภาพเอกซเรย์ที่มีคุณภาพ ซึ่งวิธีการวัดนั้นจะต้องมีความถูกต้องและรวดเร็วเพื่อให้สามารถปฏิบัติหน้าอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

รังสีเอกซเรย์ (x-ray) เป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งคลื่น และอนุภาค เช่นเดียวกับรังสีแกมมา แต่มีช่วงความยาวคลื่นต่ำกว่ารังสีแกมมา คือประมาณ 0.1 – 100 อังสตรอม (Å) หรือ 0.01 – 10 นาโนเมตร (nm) แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ รังสีเอกซเรย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 1 อังสตรอม (Å) และรังสีเอกซเรย์ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 1 อังสตรอม (Å) ในแง่ของอนุภาค รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะต้องมีพลังงานกำกับไปด้วยค่าหนึ่งเสมอ โดยสมการที่รวมคุณสมบัติของความเป็นคลื่น และอนุภาคเข้าไว้ด้วยกัน และสามารถคำนวณเพื่อเปลี่ยนค่าเฉพาะของคุณสมบัติแต่ละประเภทไปมาได้แสดงในสมการด้านล่าง

$$E = h\nu \quad E = \frac{hc}{\lambda} = 1.986 \times 10^{-24} / \lambda \quad (1)$$

ซึ่ง E หน่วยเป็นจูล(J) λ มีหน่วยเป็นเมตร(m) ทำการแปลงหน่วยอังสตรอมและอิเล็กตรอนิกส์ โวลต์ ($1\text{eV}=1.602 \times 10^{-19}$)

$$E(\text{ev}) = 12.396 / \lambda(\text{\AA}) \quad (2)$$

$$E = \text{พลังงานของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (J)}$$

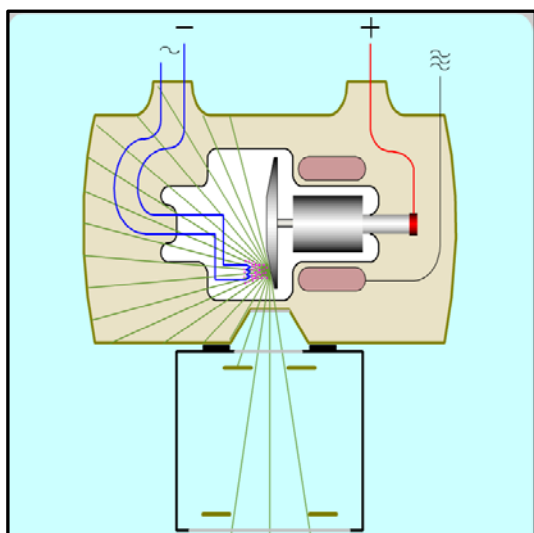
$$h = \text{ค่าคงที่ของพลังค์ } 6.626 \times 10^{-34} (\text{J}\cdot\text{s})$$

$$c = \text{ความเร็วแสง } 2.997 \times 10^8 (\text{m/s})$$

$$\lambda = \text{ความยาวคลื่น (m) รังสีเอกซเรย์}$$

เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะของระดับพลังงานของอะตอมจากระดับพลังงานสูงไปสู่ระดับพลังงานต่ำซึ่งอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสลายตัวของสารกัมมันตรังสี (Radioisotope) และที่มนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกทางอิเล็กตรอนิกส์ เมื่ออะตอมได้รับการกระตุ้น (excite) จะทำให้บริเวณวงโคจรอิเล็กตรอนของอะตอมนอกนิวเคลียสได้รับผลกระทบ ทำให้เกิดการเปลี่ยนจากสถานะปกติ (ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (excited state) และจะลดระดับพลังงานกลับมาสู่สถานะ

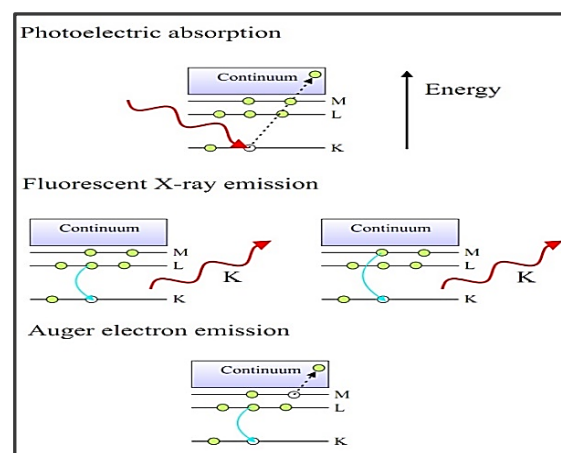
ปกติในกระบวนการกลับเข้าสู่สภาวะปกตินั้นจะเกิดการแทนที่ในที่ว่างจากชั้นอิเล็กตรอนวงนอกซึ่งมีพลังงานสูงเข้าแทนที่อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้หลุดออกไปจากวงโคจร การแทนที่นี้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าปลดปล่อยออกมาเรียกว่า “รังสีเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent x-ray)” เครื่องกำเนิดรังสีเอกซเรย์ ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ หลอดรังสีเอกซเรย์ (X-ray tube) ซึ่งเป็นหลอดแก้วสุญญากาศภายในมีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วลบ (แคโทด) หรือไส้หลอด (filament) และขั้วบวก (แอโนด) หรือ เป้า (target) ขั้วทั้ง 2 ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในไส้หลอดซึ่งทำจากทังสเตน (tungsten) แล้วจะเกิดความร้อนจนเพิ่มอุณหภูมิสูงประมาณ 2,000 องศาเซลเซียส หรือมากกว่า ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากไส้หลอด และถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปกระทบกับเป้าซึ่งทำจากโลหะผสมระหว่างทังสเตนกับวัสดุอื่นเช่น โมลิบดีนัม (molybdenum) หรือรูเนียม (rhenium)



รูปที่ 1 : โครงสร้างหลอดเอกซเรย์

เนื่องจากทั้งสเทนมมีเลขเชิงอะตอมสูง จุดหลอมเหลวสูง และส่งผ่านความร้อนได้ดี เมื่ออิเล็กตรอนความเร็วสูงกระทบกับเป้า จะสูญเสียพลังงานไปเป็นความร้อน

($\geq 99\%$) และส่วนพลังงานที่เหลือจะเปลี่ยนเป็นรังสีเอกซเรย์ กระบวนการเกิดรังสีเอกซเรย์ เมื่ออิเล็กตรอนความเร็วสูงจากไส้หลอดกระทบเป้า รังสีเอกซเรย์จะเกิดขึ้นจากกระบวนการที่สำคัญคือเมื่ออิเล็กตรอนจากไส้หลอดชนกับอิเล็กตรอนในวงโคจรอะตอมของเป้า และสามารถทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออน ด้วยการผลักอิเล็กตรอนให้หลุดออกจากอะตอม เมื่ออิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรอื่นที่ห่างออกไปเข้ามาแทนที่ว่าง ก่อนจะปลดปล่อยพลังงานออกในรูปรังสีเอกซเรย์ ซึ่งเรียกว่า รังสีเอกซเรย์เฉพาะตัว (Characteristic X-ray) จากภาพด้านล่าง อิเล็กตรอนจากวง L เข้ามาแทนที่ว่างในวง K รังสีเอกซเรย์ที่เกิดขึ้นเรียกว่า รังสีเอกซเรย์เฉพาะตัวเค (K-Characteristic X-ray) หากเป็นการแทนที่ว่างในวง L หรือ M ก็จะเรียกว่ารังสีเอกซเรย์เฉพาะตัวแอล (L-Characteristic X-ray) และรังสีเอกซเรย์เฉพาะตัวเอ็ม (M-Characteristic X-ray) พลังงานของรังสีเอกซเรย์ชนิดนี้มีค่าเฉพาะเท่ากับผลต่างของพลังงานยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนในวงโคจรเริ่มต้นกับวงโคจรสุดท้าย ซึ่งอะตอมของเป้าแต่ละชนิดจะมีการเรียงลำดับของอิเล็กตรอนแตกต่างกัน ดังนั้น พลังงานของรังสีเอกซเรย์จะเปลี่ยนไปเมื่อชนิดของเป้าเปลี่ยนไป กล่าวคือ พลังงานของรังสีเอกซเรย์เฉพาะตัวเคจากทังสเตนมีค่าแตกต่างจากตะกั่ว รังสีเอกซเรย์ชนิดนี้มีชื่อว่าแคแรกเทอริสติกซึ่งหมายถึงมีลักษณะเฉพาะตัวตามชนิดของเป้านั่นเอง

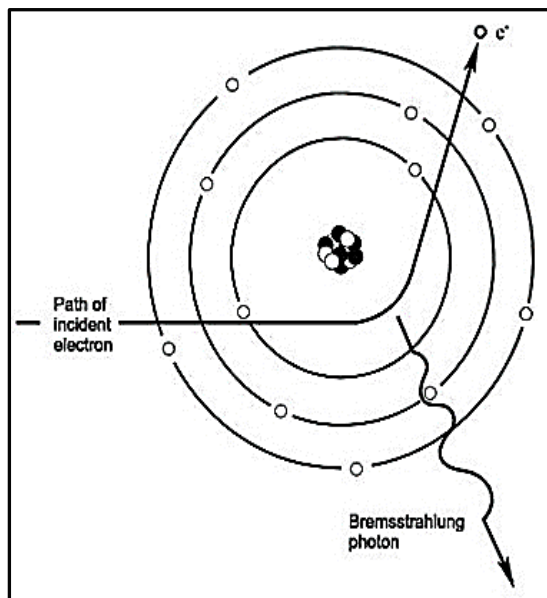


รูปที่ 2 : กระบวนการเกิดรังสีเอกซเรย์

เมื่ออิเล็กตรอนจากไส้หลอดวิ่งเข้าใกล้นิวเคลียสของเป้า เมื่อนั้นอิเล็กตรอนจะเกิดการเปลี่ยนทิศทางเคลื่อนที่ เพราะแรงจากประจุบวกของนิวเคลียส และอิเล็กตรอนเองมีพลังงานลดลง โดยการปล่อยพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์เรย์ ที่มีชื่อเรียกว่า เบรมสตราลุง (bremsstrahlung) ซึ่งมีพลังงาน (E) เท่ากับผลต่างของพลังงานอิเล็กตรอนก่อนผ่านเข้าอะตอม (Eni) และหลังจากออกจากอะตอม (Enf) ดังสมการด้านล่าง

$$E = Eni - Enf \quad (3)$$

ดังนั้นเบรมสตราลุงจึงมีพลังงานได้หลายค่า ขึ้นอยู่กับว่าอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนสามารถเข้าใกล้นิวเคลียสได้มากเพียงใด และมีการสูญเสียพลังงานเพียงใด แต่จะมีค่าพลังงานสูงสุดเท่าพลังงานของอิเล็กตรอนเช่น อิเล็กตรอนที่มีพลังงานจลน์ 70 keV เมื่อทำให้เกิดเบรมสตราลุง ก็จะมีพลังงานตั้งแต่ 0 จนถึง 70 keV ไม่เกินกว่านี้



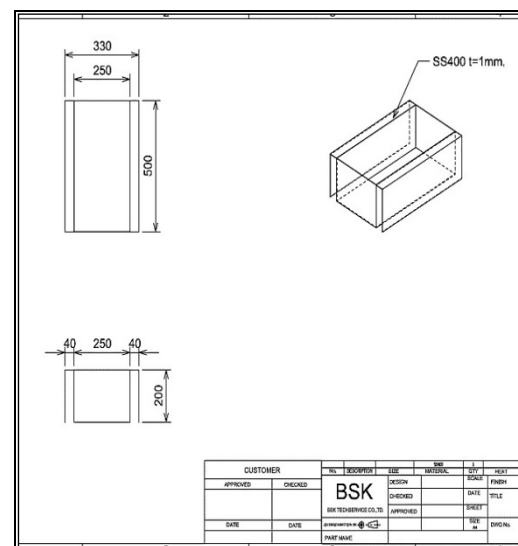
รูปที่ 3 โครงสร้างอิเล็กตรอน

ทฤษฎีของ (DR) ดิจิตอลและเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีเอกซเรย์ดิจิตอลและเอกซเรย์คอมพิวเตอร์อีกหนึ่งเทคโนโลยีที่จำเป็นสำหรับแพทย์และพัฒนาไปตาม

กาลที่ผ่านไปการถ่ายภาพด้วยรังสีหรือเอกซเรย์จำเป็นต่อการวินิจฉัยโรคของแพทย์มาก ซึ่งอาศัยการถ่ายภาพเอกซเรย์โดยใช้รังสีเอกซ์เรย์ผ่านตัวผู้ป่วยไปยังแผ่นฟิล์มแล้วล้างฟิล์มเพื่อให้แพทย์ได้วินิจฉัยโรค ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีใหม่โดยการประยุกต์ใช้งานคอมพิวเตอร์ร่วมกันกับดีเทกเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Detector) เพื่อสร้างภาพได้อย่างรวดเร็วในทันทีที่ฉายรังสี ซึ่งช่วยลดเวลาในการตรวจและรอฟังผล

3. การทดลอง

ในการวิจัยนี้มีการออกแบบและสร้างวิธีการคำนวณค่าที่เหมาะสมกับวัตถุต้องสงสัยชนิดต่างๆ โดยใช้หลักการคำนวณทางรังสีเทคนิคาค่า กิโลโวลต์เดกสูงสุด (KVP) และปริมาณของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้นจะกำหนดโดยค่าผลคูณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอดกับเวลาที่ปล่อยรังสี (mAs) ที่เหมาะสมกับวัตถุต้องสงสัยชนิดต่างๆ



รูปที่ 5: แบบชุดจำลองโครงสร้างรถยนต์

โดยงานวิจัยนี้สนใจจะตรวจสอบวัตถุต้องสงสัยคือยาเสพติดชนิดแอมเฟตามีน เนื่องจากการลักลอบขนส่งเพื่อจำหน่าย การจากวิจัยจะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วและวินิจฉัยได้อย่าง

ถูกต้องโดยมีการออกแบบชุดจำลองตัวถังรถยนต์ที่มีความหนา 1 มม. เท่ากับความหนาของรถยนต์ปกติทั่วไปเพื่อศึกษาค่าความทะลุทะลวงของรังสีเอกซเรย์



รูปที่ 6: รูปชุดจำลองโครงสร้างรถยนต์

เมื่อได้ชุดจำลองโครงสร้างรถยนต์แล้วทำการทดลองนำยาเสพติดจำลองขนาด 0.7 มม. บรรจุ 200 เม็ดต่อ 1 ถังนำไปชุกซ่อนไว้ชุดจำลองโครงสร้างรถยนต์ตั้งแล้วคำนวณหาค่ารังสีเทคนิคโดยใช้สมการ

$$EI = 1000 \times \log \left[\frac{E}{E_0} \right] + C \quad (4)$$

เมื่อ EI = คือค่าดัชนีปริมาณรังสี

E = คือปริมาณรังสีที่อิมเมจิงเพลต (milli-Roentgen; mR) E₀ = คือปริมาณรังสีที่อิมเมจิงเพลตเท่ากับ 1 มิลลิเรินต์เกน

C = คือค่าคงที่สำหรับคุณลักษณะลำรังสีโดยที่ค่าความต่างศักย์หลอด 80 กิโลโวลต์ ร่วมกับแผ่นกรองรังสีความหนา 0.5 มิลลิเมตรทองแดง (millimeter of copper; mm Cu) และ 1.0 มิลลิเมตรอะลูมิเนียม (millimeter of aluminum; mm Al) จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการบันทึกในตารางและนำไปทดสอบจริงกับเครื่อง X-Ray ยี่ห้อ Toshiba รุ่น KXO-80S และตั้งระยะห่างของหลอดที่ 40 cm.

4. ผลการทดลอง

พบว่าเครื่องเอกซเรย์ที่ใช้ในการแพทย์นั้นสามารถแสดงภาพยาเสพติดจำลองได้อย่างชัดเจนทั้งแบบชุกซ่อน 1 ชั้น และ 2 ชั้น โดยที่ยังไม่ได้ใช้งานในค่าเทคนิคสูงสุดคือ 150 KVP โดยการทดสอบพบว่าการชุกซ่อนแบบ 1 ชั้นนั้นใช้ค่ารังสีเทคนิคอยู่ที่ 75 KVP 5 mAs

ตารางที่ 1 : ตารางค่ารังสีเทคนิคที่ใช้ในการยิงแบบ 1 ชั้น

ครั้ง	ยาเสพติด		
	kVp	mAs	Seconds
1	70	5	200
2	71	5	200
3	72	5	200
4	73	5	200
5	74	5	200
6	75	5	200
7	76	5	200
8	77	5	200
9	78	5	200
10	79	5	200
11	80	5	200

โดยการทดสอบพบว่าการชุกซ่อนแบบ 1 ชั้นใช้ค่าเทคนิค 75 KVP 5 mAs ได้ภาพชัดเจนที่สุด

ตารางที่ 2 : ตารางค่ารังสีเทคนิคที่ใช้ในการยิงแบบ 2 ชั้น

ครั้ง	ยาเสพติด		
	kVp	mAs	Seconds
1	70	5	200
2	71	5	200
3	72	5	200
4	73	5	200
5	74	5	200
6	75	5	200
7	76	5	200
8	77	5	200
9	78	5	200
10	79	5	200
11	80	5	200

ส่วนการชุกซ่อนแบบ 2 ชั้นใช้ค่าเทคนิคที่ 80 KVP 5 mAs ได้ภาพชัดเจนที่สุด

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ แสดงถึง การตรวจหาวัตถุต้องสงสัยที่ซุกซ่อนมาในยานพาหนะต่างๆ โดยประยุกต์ใช้ระบบx-ray ทางกรแพทย์ โดยงานวิจัยฉบับนี้เน้นในการนำเสนอเกี่ยวกับการปรับตั้งค่าความทะลุทะลวงของวัตถุหรือที่เรียกว่า Kilo Voltage Peak (kVp) และ ค่าความเข้มของภาพ หรือที่เรียกว่า Milliamp Sec (mAs) ซึ่งเป็นค่าเทคนิคของระบบX-ray ที่เหมาะสมกับวัตถุและวัสดุต่างๆ ซึ่งจากงานวิจัยจะพบว่าสามารถทำการตรวจพบวัตถุต้องสงสัยได้เมื่อตั้งค่าเทคนิคที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนการตรวจวัดเริ่มต้นตั้งแต่ 40 kVp / 2 mAs จนถึง 150 kVp / 560 mAs ซึ่งข้อดีของการตรวจวัดโดยการประยุกต์ใช้ของเครื่อง X-ray ทางกรแพทย์นั้นจะได้ภาพที่มีความคมชัดมากกว่า ทำให้สามารถมองเห็นวัตถุต้องสงสัยที่มีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่นยาเสพติด เป็นต้น และสามารถนำไปติดตั้งตามจุดสกัดต่างๆเพื่อตรวจค้นยานพาหนะต้องสงสัยได้ง่าย ซึ่งแตกต่างจากเครื่องเอกซเรย์ระบบสายพาน ที่ใช้ตามสนามบิน, เรือบิน ซึ่งมีความละเอียดต่ำและไม่สามารถใช้ในการตรวจหาวัตถุต้องสงสัยที่มีขนาดใหญ่ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สุพันธุ์ ตั้งจิตกุศลมั่น และ ผศ. พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ ที่ให้ความรู้และคำปรึกษาต่างๆแก่งานวิจัยชิ้นนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยบูรพา,มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อสถานที่ในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sartrawut Thammakittipan, “Determination of kVp and mAs in chest x-ray using Least Square technique”, King Mongkut’s University North Bangkok Journal, 2013, pp.72-79
- [2] Rujaporn Chanachai, Laongthip Chanachai, “Basic Physics in Nuclear Medicine”, Ramkhamhang University Vol.2, 2011, pp.145-151
- [3] Thunyarat Chusin, “Application of detectors in computed radiography systems for radiation dosimetry”, Naresuan University Journals, 2015, pp.112-117
- [4] Craft B.Y., “Single –Photon Emission Computed Tomography”, Year Book Medical Publisher, Inc. Chicago, 1986, pp.121-129
- [5] Robert de Nero, “Protocol for The Radiation Safety Surveys of Diagnostic Radiological Equipment”, American Association of Physics in Medicine (AAPM Report) No. 25, 1998, pp.112-119