บทที่ 3

เครื่องมือที่ใช้วัดรังสี (Radiation Dosimeter)

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้คิดสร้างเครื่องมือสำหรับวัดรังสีไว้หลายแบบ แต่ละแบบต่างก็มีผลดีและผลเสียแตกต่างกันไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากรังสีเอกซ์เป็นพวก Heterogeneous radiation เครื่องมือที่ใช้วัดจึงต้องสามารถวัดรังสีตามพลังงานต่าง ๆ กันได้ และสามารถวัดปริมาณรังสีได้ในช่วงกว้าง (Wide ranges) เครื่องมือที่นิยมใช้วัดรังสีเอกซ์ คือ:-

ก) ฟิล์มวัดรังสี (Film dosimetry)

ข) ไอออนไนเซชั่นแชมเบอร์ (Ionization chambers)

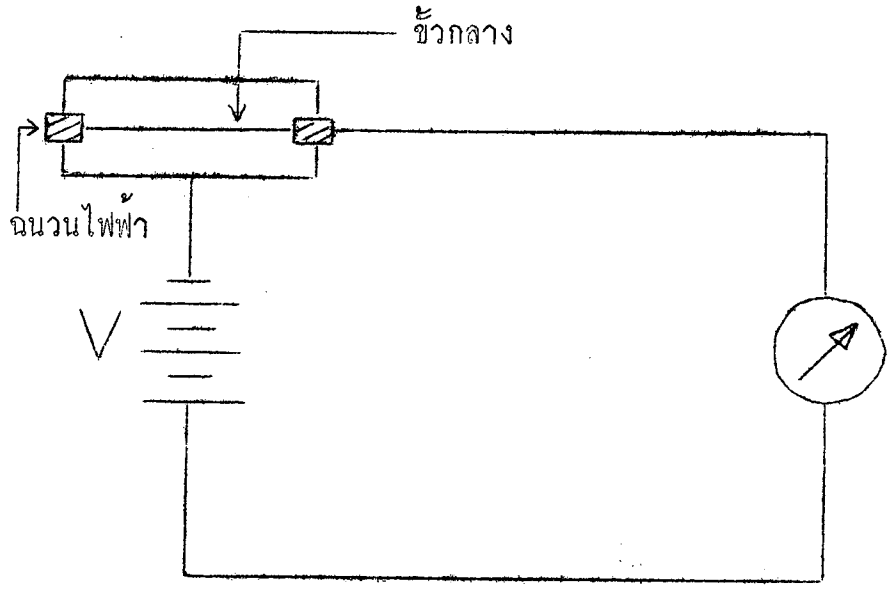
ค) เครื่องวัดรังสีแบบโฟโตลูมิเนสเซนท์ (Photoluminescent dosimeter)

ง) เครื่องวัดรังสีแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนท์ (Thermoluminescent dosimeter) หรือ TLD และ ฯลฯ

ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะกล่าวเฉพาะหลักการทำงานของเครื่องมือแบบไอออนไนเซชั่นแชมเบอร์ และแบบเทอร์โมลูมิเนสเซนท์เท่านั้น โดยที่ใช้เครื่องมือทั้งสองชนิดนี้เป็นหลักในการทดลองและวัดปริมาณรังสีที่ระบบสืบพันธุ์

3.1 ไอออนไนเซชั่นแชมเบอร์ (Ionization chambers)

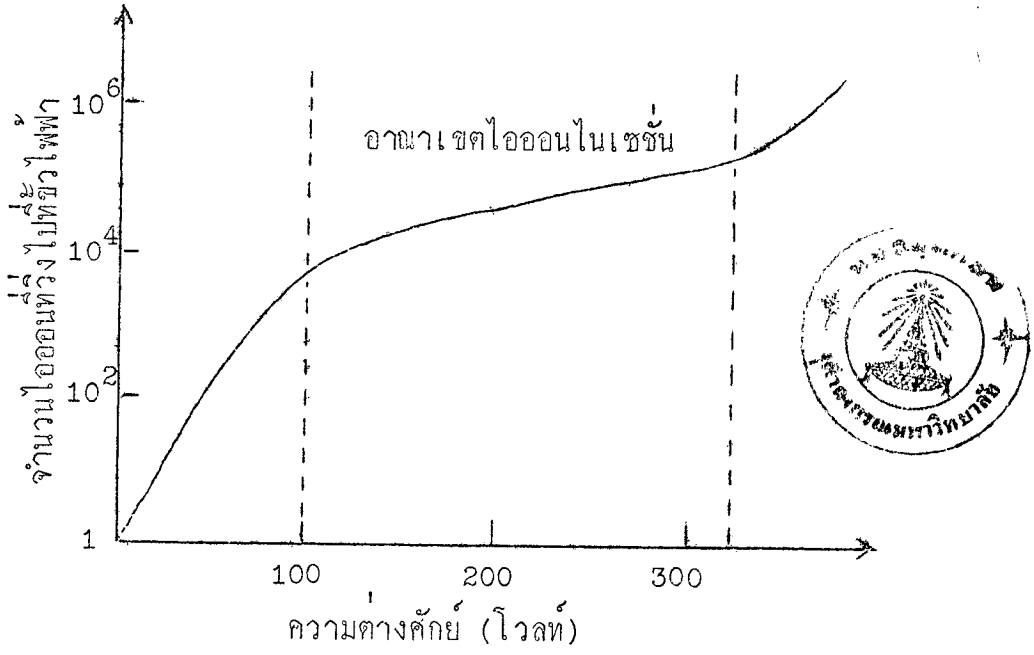
เนื่องจากรังสีเอกซ์เมื่อผ่านเข้าไปในวัตถุใดก็ตามจะทำให้เกิดการแตกตัว (Ionize) ของอิเล็คตรอนในอะตอมดังกล่าวแล้วในบทที่ 2 ทำให้เกิดไอออนบวกและไอออนลบ ปริมาณของไอออนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณและพลังงานของรังสีเอกซ์ ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงนำมาใช้เป็นหลักในการสร้างเครื่องมือวัดรังสีชนิดนี้ขึ้น ที่ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่มี Ionization chamber, Proportional counter และ Geiger-Müller (G.M.) tube แต่ละแบบก็ใช้บรรจุแก๊สไว้ในแชมเบอร์ (Chamber) หลักการทำงานของเครื่อง Ionization chamber อาจอธิบายได้ดังนี้:-



รูปที่ 3-1 แสดงการทำงานของเครื่องวัดรังสีแบบ Ionization chamber

เครื่องวัดรังสีแบบนี้ประกอบด้วยแชมเบอร์ที่บรรจุแก๊สไว้ มีแกนกลางซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นขั้วกลาง (Central electrode) และมีฉนวนไฟฟ้าขั้นไว้เพื่อไม่ให้ถูกตัวแชมเบอร์ (ดังรูป 3-1) และตัวแชมเบอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าอีกขั้วหนึ่ง ระหว่างตัวแชมเบอร์และแกนกลางมีความต่างศักย์เท่ากับ V โวลท

เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในแชมเบอร์ จะทำให้แก๊สในแชมเบอร์แตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ สำหรับไอออนบวกจะวิ่งไปทางขั้วลบ (ที่ตัวแชมเบอร์) และไอออนลบจะวิ่งไปยังขั้วบวก (ขั้วกลาง) แต่อย่างไรก็ตามจะมีไอออนส่วนหนึ่งรวมตัวกัน (Recombination) กลับเข้าสู่สภาพเดิม ถ้าหากเราเพิ่มความต่างศักย์ V ให้มากขึ้น โอกาสรวมตัวกันใหม่ก็น้อยลง และถ้าเพิ่มค่า V มากขึ้นจนไอออนที่เกิดขึ้นไม่มีโอกาสรวมตัวกันได้เราก็จะได้ค่าประจุที่มากที่สุด ค่าความต่างศักย์ช่วงนี้เราเรียกว่า Saturation voltage (ดังรูป 3-2) และในช่วงนี้ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับชนิดและปริมาณรังสีที่เข้ามา ถ้าเครื่องมือที่ใช้วัดเป็นประจุไฟฟ้า เราก็อาจทราบปริมาณรังสีที่เข้ามาทั้งหมด แต่ถ้าวัดเป็นกระแสไฟฟ้า เราก็สามารถทราบอัตราปริมาณรังสีต่อหน่วยเวลา (Dose-rate) ได้



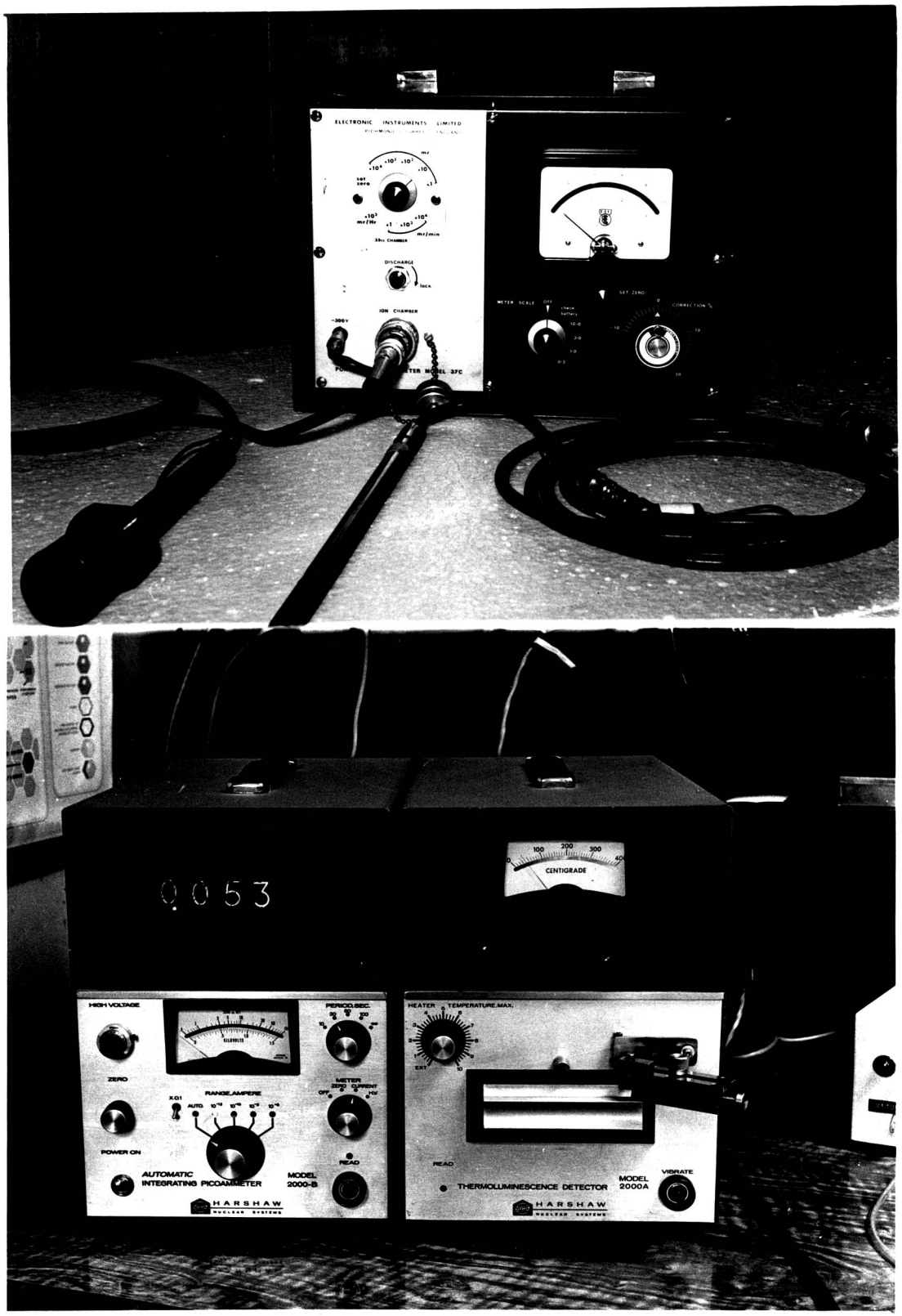
รูปที่ 3- 2 แสดงความสัมพันธ์ของ pulse-height กับความต่างศักย์ที่ขั้วแซมเบอร์

ดังนั้นเครื่องมือชนิดนี้จึงสามารถวัดปริมาณรังสีทั้งหมดและอัตราปริมาณรังสีต่อหน่วยเวลาได้

ถ้าเราเพิ่มความต่างศักย์มากจนกระทั่งเลยช่วง Saturation voltage ไป จะทำให้ไอออนที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะอีเล็คตรอนที่วิ่งไปที่ขั้วบวกมีความเร็วมากพอจนสามารถ - ไอออนไนส์ (Ionize) ประจุไดต่อไปซึ่งเรียกว่า Secondary ion pairs ความต่างศักย์ช่วงนี้จะไม่สามารถใช้ได้ในเครื่อง Ionization chambers แต่ใช้ในเครื่อง Proportional counter

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือชนิด Ionization chamber ของบริษัท Electronic Instruments Ltd. (E.I.L.) Model 37 C ซึ่งออกแบบไว้วัดรังสีเอกซ์วินิจฉัยโดยเฉพาะ (ดังรูปที่ 3 - 3) ตัวเครื่องวัด (Chamber) มีหลายขนาดตั้งแต่ 3.5,



รูปที่ 3-3 เครื่องมือวัดรังสีไอออนไนเซชั่นแชมเบอร์และเทอร์โมลูมิเนสเซนท์

35 และ 350 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร สามารถวัดได้ทั้งปริมาณรังสี (Integral dose) และอัตราปริมาณรังสีต่อนาที (Dose-rate) ในช่วงตั้งแต่ 0.3 มิลลิเริงเกนซ์ ถึง 100 เริงเกนซ์ หรือ 0.3 มิลลิเริงเกนซ์ต่อนาที ถึง 100 เริงเกนซ์ต่อนาที มีความคลาดเคลื่อนในการวัดรังสีเอกซ์ที่พลังงานต่าง ๆ ในช่วงวินิจฉัยโรคนี้สูงสุด ± 10 %

ตัวเครื่องวัดต่อเข้ากับมาตรวัดด้วยสายพิเศษที่กันสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กได้ มาตรวัดใช้แบตเตอรี่ขนาด 6 โวลท์ 2 ก้อน และแปลงไฟขึ้นไปจนทำให้เครื่องวัดมีความต่างศักย์ประมาณ 300 โวลท์

เครื่อง E.I.L. ที่ใช้ในการทดลองนี้ได้รับการเทียบความแม่นยำจากเครื่องมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard) ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์แล้ว และเป็นที่เชื่อได้ว่ามีความแม่นยำพอที่จะใช้ในการทดลองครั้งนี้

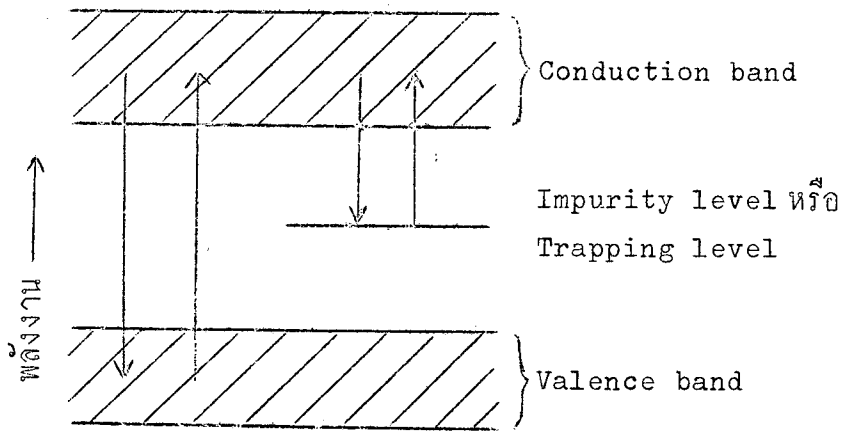
3.3 เครื่องวัดรังสีแบบเทอร์โมลูมิเนสเซ็นท์ (Thermoluminescent dosimeter)

เครื่องวัดแบบนี้ใช้คุณสมบัติของผลึกของสารบางชนิดที่สามารถเก็บพลังงานไว้ได้เมื่อมีรังสีผ่านเข้ามาจะถูกดูดกลืนพลังงานไว้ แล้วนำมาเป็นประโยชน์ในการวัดปริมาณรังสี หลักการทำงานอาจอธิบายย่อ ๆ ได้ดังนี้

จากทฤษฎีของอะตอมเราทราบแล้วว่าประกอบด้วยนิวเคลียส์ (nucleus) ซึ่งมีประจุบวกและล้อมรอบด้วยอีเล็คตรอนซึ่งมีประจุลบอยู่ในวงโคจร (orbit) ระดับต่าง ๆ จากนิวเคลียส อีเล็คตรอนในวงโคจรที่อยู่ห่างจากนิวเคลียสจะมีพลังงานมากกว่าอีเล็คตรอนในวงโคจรที่อยู่ใกล้นิวเคลียส เมื่อรังสีผ่านเข้าไปในผลึก พลังงานบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดูดกลืนไว้และทำให้อีเล็คตรอนในอะตอมของผลึกกระโดดจากระดับพลังงานปกติใน Valence band ไปสู่ Conduction band โดยปกติมันจะกระโดดกลับเข้าสู่ Valence band ตามเดิมพร้อมกับคายพลังงานโฟตอน (Photon) ออกมา แต่ถ้าโครงสร้างของผลึกมีอะตอมของ Impurities อยู่ทั่วไปใน Lattice ของผลึก แล้วมันอาจทำให้เกิดระดับพลังงาน (energy levels) ขึ้น ระหว่าง Valence และ Conduction bands ซึ่งเรา

เรียกว่า Traps ซึ่งจะกั้นไม่ให้อีเล็คตรอนกระโดดกลับเข้าสู่ Valence band ได้ (ดังรูปที่ 3-4) ถ้าอีเล็คตรอนกระโดดลงสู่ Trapping level อันใดอันหนึ่ง แทนที่จะกระโดดกลับเข้าสู่ Valence band แล้ว ทางที่จะทำให้มันกลับสู่ Valence band ได้อีกก็คือให้พลังงานเพิ่มแก่อีเล็คตรอนเพื่อให้กระโดดกลับเข้าสู่ Conduction band ใหม่ แล้วจากนั้นจึงกระโดดกลับเข้าสู่ Valence band ได้ เครื่องมือ TLD นี้ใช้ประโยชน์ของผลึกที่มีจำนวน Traps ที่สร้างขึ้นมากมาย การทำให้เกิด Traps ในผลึกนี้ทำได้โดยการใส่ Impurity เล็กน้อยลงไปในเกลือบริสุทธิ์ เช่น ใส่ dysprosium หรือ manganese ลงไปใน calcium fluoride หรือใส่ manganese ลงไปใน lithium borate แล้วหลอมเข้าด้วยกันพร้อมกับควบคุมการเย็นตัวกลับเป็นผลึกใหม่ให้ดี

เมื่อผ่านรังสีลงไปบนผลึกที่ผสม Impurity นี้ จะได้ว่าจำนวนอีเล็คตรอนที่กระโดดลงไปใน Trap จะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ผลึกได้รับ และอีเล็คตรอนเหล่านี้เมื่อได้รับพลังงานความร้อน (Thermal energy) มันก็จะกระโดดกลับเข้าสู่ Conduction band อีกครั้ง จากนั้นจึงกระโดดกลับเข้าสู่ Valence band พร้อมกับให้โฟตอนออกมา ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือ Photomultiplier tube ตรวจวัดได้



รูปที่ 3-4 แสดงระดับของพลังงานของอะตอมในผลึก

(Energy-level diagrams of crystals)

ดังนั้นในทางปฏิบัติเมื่อนำผลึกไปรับรังสีแล้ว ภายหลังจึงนำมาอบความร้อนที่อุณหภูมิสูง ๆ (ประมาณ 200°C) ก็จะทำให้สามารถได้แสงโฟตอนออกมา ซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับปริมาณรังสีที่ได้รับ

ผลึกของสารที่สำคัญที่ใช้ทำเครื่องมือชนิดนี้ได้แก่ CaF_2 และ LiF สำหรับ CaF_2 มีความไวต่อรังสีมากกว่า แต่ LiF มีผลต่อพลังงานของรังสีน้อยกว่า คือมี Energy dependence น้อยกว่า CaF_2

3.4 <u>หลอด TLD ที่ใช้ในการวัดรังสีที่ระบบสืบพันธุ์ (TLD Capsules)</u>

ในการวัดปริมาณรังสีที่ระบบสืบพันธุ์โดยตรงของเพศชายขณะได้รับการวินิจฉัยโรคด้วยรังสีเอกซ์นั้น ใช้หลอด TLD ซึ่งมีขนาดยาวประมาณ 1 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3/16 นิ้ว ทำด้วย Polypropylene บรรจุผง LiF หนัก 100 มิลลิกรัมไว้ เมื่อเวลานำไปอ่านค่าปริมาณรังสีจะแบ่งออกเป็น 3 ชุด แต่ละชุดหนัก 30 มิลลิกรัม และที่เหลือ 10 มิลลิกรัมเก็บไว้สำรอง เพื่อที่จะได้อ่านได้ 3 ค่า แล้วจึงนำมาเฉลี่ย ซึ่งจะให้ผลได้แม่นยำกว่าการอ่านครั้งเดียวโดยใช้ LiF ทั้ง 100 มิลลิกรัม สำหรับมาตรวัดใช้**ของบริษัท** **Harshaw Nuclear Systems แบบ Model 2000A และ 2000-B ดังรูป 3-3**

หลอด TLD นี้สามารถวัดรังสีเอกซ์ได้ตั้งแต่ 2mR ถึง 10^5 R ซึ่งนับว่าสามารถอ่านได้ในช่วงกว้างมาก และมากกว่าเครื่อง E.I.L. ส่วนความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่หลอด TLD ได้รับ กล่าวคือมีความคลาดเคลื่อนได้ ± 2 mR หรือ ± 2% ของปริมาณรังสีทั้งหมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าค่าใดจะมากกว่ากันก็นับค่าที่มาก สำหรับปริมาณรังสีน้อยกว่า 100 mR ความคลาดเคลื่อนให้คิด ± 2 mR แต่ถ้าปริมาณรังสีมากกว่า 100 mR คิดความคลาดเคลื่อน ± 2% เช่นถ้าหลอด TLD ได้รับปริมาณรังสี 10 mR เมื่ออ่านผลออกมาแล้วอาจมีความคลาดเคลื่อนได้ ±20 % (คือ 10 ± 2 mR) เป็นต้น จะเห็นได้ว่า TLD นี้เหมาะสำหรับอ่านปริมาณรังสีที่มีค่ามาก จะให้ความแม่นยำได้ดีกว่าเครื่องมือชนิดอื่น

เนื่องจากเครื่องมือ TLD เหมาะที่จะใช้วัดปริมาณรังสีที่ระบบสืบพันธุ์โดยตรง เพราะมีขนาดเล็ก ให้ความแม่นยำได้ดี สามารถติดที่ตำแหน่ง Scrotum ได้ง่ายและรวดเร็ว ไม่เป็นการขัดต่อการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาล จึงได้เลือกเอาเครื่องมือชนิดนี้วัดโดยตรงสำหรับเพศชาย (แต่ขณะนี้เรายังไม่มีเครื่องมือชนิดนี้ไว้ใช้) ในการวัดครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากสถาบันห้องปฏิบัติการทางรังสีแห่งชาติ (National Radiation Laboratory หรือ NRL) ประเทศนิวซีแลนด์ โดยส่งหลอด TLD มาให้ใช้วัดแล้วส่งกลับไปอ่านผล ณ NRL ประเทศนิวซีแลนด์