บทที่ 5

สรุปและแสดงความคิดเห็น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมายจะศึกษาการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 50 ถึง 120 กิโลโวลต์ของวัสดุที่ใช้หรืออาจใช้ทำผนัง พื้น เพดาน หรือฉากป้องกันรังสี เพื่อพิจารณาประกอบการป้องกันรังสี โดยศึกษาเกี่ยวกับ

1. เปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านของรังสีเอกซ์ต่อวัสดุต่าง ๆ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่า H.V.L.

3. ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี เมื่อความหนา ความหนาแน่น และค่ากิโลโวลต์เปลี่ยนแปลง

4. หาปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร เมื่อมีวัสดุที่มีความหนาต่าง ๆ กันขั้น

เมื่อได้ทำการทดลองหาข้อมูลต่าง ๆ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ในรูปตารางและกราฟ ปรากฏผลดังต่อไปนี้

5.1 เปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมาของรังสีเอกซ์ที่มีต่อวัสดุต่าง ๆ

ตารางที่ 4-6, 4-7, 4-8, 4-10, 4-11 ถึง 4-23 แสดงการดูดกลืนรังสีเอกซ์ที่ค่ากิโลโวลต์ตั้งแต่ 50 ถึง 120 ของตะกั่ว อลูมิเนียม สังกะสี อิฐอุชยา กระจก ไม้อัด เชฟวิ่งบอร์ด ไม้สัก ไม้ฉำฉา คอนกรีตบล็อกชนิดตัน กระเบื้องแผ่นเรียบ ไม้ยาง กระดาษอัด อิฐบล็อก คอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรง อิฐทนไฟ และแบไรท์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความหนาของวัสดุยิ่งเพิ่มขึ้น ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านน้อยลง นั่นคือเปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมา

จะน้อยลงทุกที่ที่ความหนาเพิ่มขึ้น แต่อัตราการลดเปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมานี้จะช้ากว่าอัตราการเพิ่มความหนา เพราะเมื่อนำค่าเปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านและความหนาไปสร้างกราฟบนกระดาษกึ่ง-ล็อกโดยให้ความหนาอยู่บนแกนธรรมดา จะได้กราฟเส้นโค้งดังเช่นรูปที่ 4-5, 4-6 และ 4-7 เป็นต้น

รูปที่ 4-5, 4-6, 4-7, 4-9, 4-10 ถึง 4-18 เป็นกราฟแสดงเปอร์เซนต์ของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ ตะกั่ว อลูมิเนียม สังกะสี อิฐ กระจก ไม้อัดยาง เชฟวิ่งบอร์ด ไม้สัก ไม้ฉำฉา คอนกรีตบล็อกชนิดพัน กระเบื้องแผ่นเรียบ ไม้ยาง และกระดาษอัด ตามลำดับ พิจารณารูปที่ 4-6 ซึ่งเป็นกราฟของอลูมิเนียม จะเห็นว่าค่า H.V.L. ของรังสีเอกซ์ที่ 80, 90, 100 และ 120 กิโลโวลต์ มีค่าเป็น 2.5, 2.8, 3.2, และ 3.7 มิลลิเมตรของอลูมิเนียมตามลำดับ ซึ่งค่า 80-90 กิโลโวลต์เป็นค่าที่ใช้ในการถ่ายรังสีทั่ว ๆ ไปโดยเฉลี่ย ดังได้กล่าวถึงในบทที่ 2 มีกฎของ NCRP[1] ข้อหนึ่งว่าลำรังสีเอกซ์ที่ใช้ในด้านวินิจฉัยจะต้องให้ค่า H.V.L. ไม่ต่ำกว่า 2.5 มม. ของอลูมิเนียม รังสีที่ใช้จึงอยู่ในช่วงที่ ICRP. และ NCRP. กำหนด การทดลองจึงเป็นไปตามความมุ่งหมายที่ได้วางไว้ รูปทุกรูปที่กำลังพิจารณาอยู่นี้เส้นกราฟของรังสีเอกซ์ที่ 50 กิโลโวลต์ จะอยู่ต่ำสุดและ 120 อยู่เหนือสุดตามลำดับ แสดงว่ารังสีเอกซ์ที่พลังงานต่ำกว่าถูกดูดกลืนได้ดีกว่า ในขณะเดียวกันจะเห็นว่าตะกั่ว สังกะสี อิฐ กระจก คอนกรีตบล็อก ดังรูปที่ 4-5, 4-7, 4-9, 4-10 และ 4-15 มีการดูดกลืนรังสีได้ดี ผู้ทดลองสร้างกราฟบนกระดาษกึ่ง-ล็อก เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของวัสดุพวกนี้ดังแสดงในตารางที่ 4-1 จะเห็นว่ามีความหนาแน่นมาก แสดงว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมากมีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีได้ดี เช่นเปรียบ

---

[1] National Committee on Radiation Protection and Measurements Medical X-ray Protection Up to Three Million Volts, Handbook 76. National Bureau of Standard, 1961.

เทียบรูปที่ 4–10 และ 4–13 ซึ่งแสดงเปอร์เซนต์ของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านกระจก, ไม้สัก ตามลำดับ ที่ค่า 100 กิโลโวลต์และความหนา1เซนติเมตรเท่ากัน กระจกยอมให้รังสีทะลุผ่านออกมาเพียง 22% แต่ไม้สักยอมให้รังสีทะลุผ่านถึง 84% และถ้ากระจกหนาขึ้นอีกเท่าตัวคือเป็น 2 เซนติเมตร เปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมาลดลงเหลือเพียง 9% แต่ถ้าเป็นไม้สักรังสีที่ทะลุออกมายังมีถึง 72% ข้อสรุปที่ได้อีกข้อหนึ่งก็คือเปอร์เซนต์ของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านวัสดุที่มีความหนาแน่นมากจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ในขณะเดียวกันพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซนต์ของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านกระจกและไม้สักที่มีความหนา 1 เซนติเมตร เมื่อรังสีเอกซ์ลดลงจาก 100 เป็น 50 กิโลโวลต์ สำหรับกระจกเปอร์เซนต์ของรังสีเอกซ์ที่ทะลุผ่านเป็น 9% แสดงว่าถ้าค่ากิโลโวลต์ลดลงจาก 100 เป็น 50 เปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมาลดลงจาก 22% เป็น 9% แต่ไม้สักซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่านั้น เปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมาลดลงจาก 84% เป็น 78% ซึ่งอัตราการลดน้อยมากเมื่อเทียบกับกระจกซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า แสดงว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นมากการดูดกลืนรังสีที่ค่าพลังงานต่ำ ๆ มีมากกว่าที่ค่าพลังงานสูงอย่างเห็นได้ชัด ส่วนวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อย การดูดกลืนรังสีไม่แตกต่างกันมากเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เป็นเพราะรังสีส่วนใหญ่ทะลุผ่านออกมาหมด

พิจารณาที่ค่า 100 กิโลโวลต์ของวัสดุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. เซฟวิ่งบอร์ด, ความหนาปรกติ 0.6 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 90% รูปที่ 4–12

2. ไม้สัก, ความหนาปรกติ 1 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 84% รูปที่ 4–13

3. ไม้อัด, ความหนาปรกติ 0.4 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 90% รูปที่ 4–11

4. ไม้ฉำฉา, ความหนาปรกติ 2 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 80% รูปที่ 4–14

5. ไม้ยาง, ความหนาปรกติ 0.9 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 82% รูปที่ 4–17

6. กระดาษอัด, ความหนาปรกติ 0.3 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 93% รูปที่ 4-18

วัสดุดังกล่าวตั้งแต่ข้อ 1ถึง 6 ยอมให้รังสีทะลุผ่านถึง 80-90% ในทางป้องกันแล้วถือว่าไม่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีเลย ส่วนวัสดุต่อไปนี้

7. กะถั่ว, ความหนา 0.1 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 0.4% รูปที่ 4-5

8. สังกะสี, ความหนาปรกติ 0.03 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 35% รูปที่ 4-7

9. อิฐ, ความหนาปรกติ (เรียงแบบก่อสร้าง) 7 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 2% รูปที่ 4-9

10. กระจก, ความหนา 2.0 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 9% รูปที่ 4-10

11. คอนกรีตบล็อก, ความหนาต่ำสุด 4 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 3% รูปที่ 4-15

12. แบไรท์, ความหนา 1.2 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 0.009% ตารางที่ 4-23

13. อิฐบล็อก, ความหนาปรกติ 8 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 5.3% ตารางที่ 4-20

14. กระเบื้องแผ่นเรียบ, ความหนาปรกติ 0.6 เซนติเมตร 2 แผ่น รวม 1.2 เซนติเมตร ให้รังสีทะลุผ่าน 17% รูปที่ 4-16

15. อิฐทนไฟ, ความหนาปรกติ 1.5 เซนติเมตร ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 1.44% ตารางที่ 4-22

วัสดุตั้งแต่ ข้อ 7 ถึง 15 ยอมให้รังสีทะลุผ่านน้อยกว่า ฉะนั้นจึงมีโอกาสใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีได้

คอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรงตรงกลางสามารถดูดกลืนรังสีได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกชนิดตันที่มีความหนาเท่ากับความหนารวมของเปลือกทั้งสองด้าน และยอมให้รังสีทะลุผ่านน้อยมาก คือ ชนิด C4-1 ยอมให้รังสีทะลุผ่าน 1.24% และ C4-3 ยอมให้รังสีทะลุผ่าน2.36% จึงพิจารณาได้ว่าคอนกรีตบล็อกชนิดมีโพรงทั้ง 2 ขนาดสามารถใช้เป็นวัสดุป้องกันรังสีได้ ดังแสดงในตารางที่ 4-21

5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและค่า H.V.L.

ตารางที่ 4-25 ได้จากการหาความหนาของวัสดุที่ยอมให้รังสีเอกซ์ที่ 50 และ 100 กิโลโวลต์ ทะลุผ่านออกมาได้ 50% ของรูปที่ 4-5 ถึง 4-18 ยกเว้น 4-8 ซึ่งเรียกความหนานี้ว่า H.V.L. และเมื่อนำค่าความหนาแน่นและ H.V.L. ที่หาได้มาสร้างกราฟดังรูปที่ 4-19 โดยศึกษาเฉพาะที่ปรากฏว่าถึงแม้ค่า H.V.L. จะอยู่บนแกนกึ่ง-ล็อกแต่กราฟที่ได้ก็เป็นเส้นโค้ง แสดงให้เห็นว่าเมื่อความหนาแน่นน้อยลงค่า H.V.L. จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากและเร็วกว่าเลขยกกำลัง ฉะนั้นถ้าใช้วัสดุที่มีความหนาแน่นมากมาป้องกันรังสีเอกซ์จะใช้ความหนาไม่มากนัก รูปนี้จะเป็นประโยชน์ในการหาค่า H.V.L. ของวัสดุอื่น ๆ ที่ทราบเพียงค่าความหนาแน่นเท่านั้น และเป็นแนวทางในการพิจารณาว่าวัสดุนั้นใช้ป้องกันรังสีได้หรือไม่ วัสดุใดที่มีความหนาปรกติน้อยกว่าค่า H.V.L. ของรังสีเอกซ์ที่จะป้องกัน วัสดุนั้นย่อมยอมให้รังสีทะลุผ่านเกินกว่า 50% ซึ่งไม่อาจพิจารณาให้เป็นวัสดุป้องกันรังสีได้

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสี

ตารางที่ 4-24 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีตามเส้นใบหน่วย มม.$^{-1}$ ซึ่งสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

1. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีไม่ใช่ค่าลงที่ แต่จะลดลงเมื่อความหนาของวัสดุเพิ่มขึ้น

จากสูตร $I = I_0 e^{-\mu x}$

แสดงให้เห็นว่าค่า μ หรือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีตามเส้นควรจะเป็นค่าคงที่ แต่ที่ได้ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีไม่คงที่ อธิบายได้จากการที่พลังงานของลำรังสีเอกซ์ไม่เท่ากันทุกโฟตอน เพราะรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดอยู่ในลักษณะรังสีหลายความถี่หรือมีพลังงานหลายค่า (Continuous Spectrum) เมื่อวัสดุที่กั้นหนาขึ้นพวกรังสีอ่อน (Soft Rays) หรือพวกที่มีพลังงานต่ำ ๆ จะถูกกรองไว้มาก ทำให้ลำรังสีที่ผ่านออกนั้นแข็ง (Hard) ยิ่งขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งอัตราของโฟตอนที่มีพลังงานสูงต่อโฟตอนทั้งหมดเพิ่มขึ้นที่เรียกว่าคุณภาพ (Quality) ของรังสีดียิ่งขึ้น อำนาจการทะลุทลวงย่อมดีขึ้น ฉะนั้นค่า μ หรือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีจึงลดลงตามลำดับ

2. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีลดลงเมื่อพลังงานของรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น เป็นเพราะรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสามารถทะลุผ่านไปได้ดีกว่า

3. ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยจะน้อยกว่าค่าของวัสดุที่มีความหนาแน่นมาก อธิบายได้ว่าวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยสามารถดูดกลืนรังสีได้น้อยนั่นเอง

เนื่องจากค่า μ เป็นตัวแปรจึงไม่สามารถศึกษาละเอียดมากกว่านี้ได้

5.4 ปริมาณรังสีที่ระยะ 1 เมตร เมื่อมีวัสดุที่มีความหนาต่าง ๆ กันกั้น

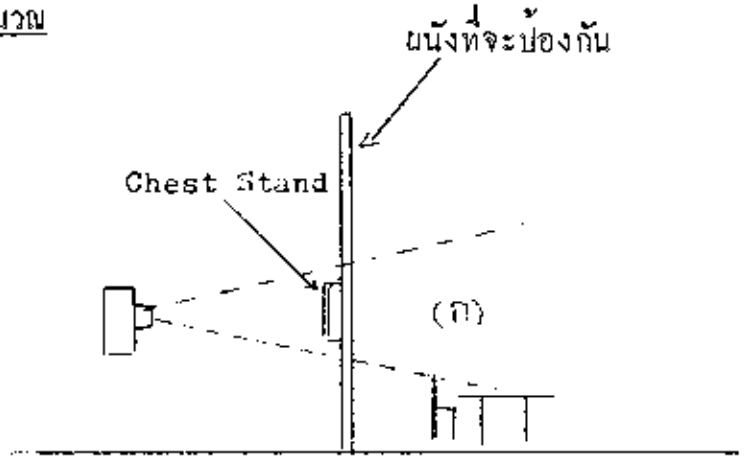
รูปที่ 4-20 ถึง 4-32 แสดงค่าปริมาณรังสีต่อมิลลิแอมป์-นาที ที่ระยะ 1 เมตร ของตะกั่ว อลูมิเนียม สังกะสี อิฐอยุธยา กระจก ไม้อัด เชฟวิ่งบอร์ด ไม้สัก ไม้ฉาบฯ คอนกรีต-บล็อกชนิดตัน กระเบื้องแผ่นเรียบ ไม้ยาง กระดาษอัด ตามลำดับ กราฟต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นประโยชน์ในการพิจารณาความหนาของวัสดุที่จะใช้ป้องกันรังสีโดยวิธีของ ICRP. ดังต่อไปนี้

5.5 ตัวอย่างการคำนวณการป้องกันรังสีโดยวิธีของ ICRP.

ตัวอย่างที่ 1 (การป้องกันรังสีปฐมภูมิ)

ผนังห้องรังสีเอกซ์ด้านหนึ่งจะใช้ติดตั้ง Chest Stand สำหรับถ่ายปอด ผนังด้านนั้นติดกับห้องติดต่อสอบถามซึ่งมีเจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์นั่งทำงานอยู่เป็นประจำ โรงพยาบาลแห่งนี้เป็นโรงพยาบาลใหญ่มีคนไข้มาก และมีคนไข้ที่ถ่ายปอดประมาณ 20% ของคนไข้ทั้งหมด เครื่องกำเนิดรังสีที่ใช้เป็นเครื่องมีกำลังสูงสุด 150 กิโลโวลต์ 500 มิลลิแอมป์ และหลอดรังสีอยู่ห่างจากผนัง 2 เมตร จะต้องคำนวณความหนาของวัสดุที่จะทำผนังด้านนี้

วิธีคำนวณ



เนื่องจากการถ่ายปอดเป็นการฉายรังสีไปยัง Chest Stand ดังนั้นผนังห้องด้านนี้จะต้องป้องกันลำรังสีปฐมภูมิได้เพียงพอจึงใช้สูตร (2-1) ในการคำนวณ คือ

$$B = \frac{Pd^2}{WUT}$$

B เป็นปริมาณรังสีในหน่วยเรินเกนต์ต่อมิลลิแอมป์-นาที ที่ระยะ 1 เมตร ใน 1 สัปดาห์ที่ยอมให้เจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์ผู้นั้นได้รับโดยทำให้ปริมาณรังสีสูงสุดเป็น P หรือ 0.01 เรินเกนต์ต่อสัปดาห์ (ทั้งนี้เพราะเจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์ไม่ใช่เจ้าหน้าที่รังสี)

d เป็นระยะจากหลอดถึงผนังห้องยาว 2 เมตร ทั้งนี้เพราะไม่ทราบแน่ว่าตำแหน่งที่เจ้าหน้าที่ประชาสัมพันธ์นั่งประจำอยู่ใกลจากผนังห้องเท่าใด จึงพิจารณาค่า 2 เมตรในการคำนวณ

w คืออัตราการทำงานของเครื่อง ในที่นี้ใช้ 1000 มิลลิแอมป์-นาที ต่อ 1 สัปดาห์ ดังกล่าวมาแล้วในข้อ 2.1

u คือยูสแฟกเตอร์ในที่นี้ทราบจากโรงพยาบาลว่า การถ่ายปอดมีประมาณ 20% ของการถ่ายรังสีเอกซ์ชนิดอื่น ๆ ฉะนั้น $u = \frac{20}{100} = 0.2$ ทั้งนี้เพราะตำแหน่ง (ก) จะได้รับรังสีปฐมภูมิเฉพาะเมื่อมีการถ่ายปอดเท่านั้น ส่วนการถ่ายชนิดอื่น ๆ เป็นการถ่ายลงบนเตียง ซึ่งตำแหน่ง (ก) จะได้รับเพียงรังสีทุติยภูมิหรือรังสีสะท้อนและน้อยมากเมื่อเทียบกับรังสีปฐมภูมิ

t คือออกคิวแปนซีแฟกเตอร์ ในที่นี้ = 1 เพราะเป็นตำแหน่งที่มีคนนั่งประจำตลอดเวลา

$$B = \frac{0.01 \times 2^2}{1000 \times 0.2} = 0.001$$ เรินเกนซ์ต่อ มิลลิแอมป์-นาที ที่ระยะ 1 เมตร

เมื่อพิจารณาความหนาของวัสดุจากรูปที่ 4-20 ถึง 4-32 ที่ 100 กิโลโวลต์ รวมทั้งประเมินค่าก่อสร้าง จะได้ดังตารางที่ 5-1 ส่วนแบไรท์ได้จากการคำนวณจากตารางที่ 4-23

ตารางที่ 5-1

ชนิด ความหนา และราคาค่าก่อสร้าง
เพื่อป้องกันรังสีเอกซ์ตามตัวอย่างที่ 1 ได้เพียงพอ

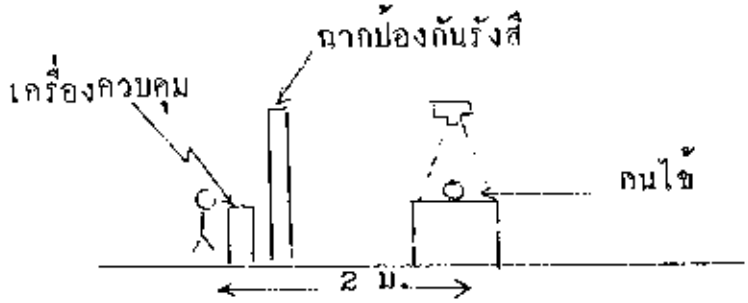
วัสดุ	ความหนา (ซม.)	ค่าก่อสร้างต่างเมตรละ (บาท)	ความหนาปกติ (ซม.)
ตะกั่ว	0.11	350	0.15
อิฐ	12.00	120	16
คอนกรีตบล็อก	8.00	130	9
แบไรท์	1.2		

สำหรับวัสดุอื่น ๆ ไม่สามารถใช้ป้องกันรังสีเอกซ์ได้ เพราะความหนาถึงแม้จะเกินความหนาปกติหลายเท่า ก็ไม่พอจะกันรังสีให้ทะลุผ่านออกมา เท่ากับค่า B ที่คำนวนได้ เมื่อพิจารณาในด้านเศรษฐกิจ จะเห็นว่าอิฐหรือคอนกรีตบล็อคถูกกว่าตะกั่วมาก สำหรับอิฐนั้นก่อแบบการก่อสร้างปกติ ความหนาประมาณ 7 เซ็นติเมตร น้อยไป ป้องกันไม่ได้เพียงพอ จึงแนะนำให้ก่อสร้างแบบที่เรียกว่าเรียงเต็มแผ่น คือเรียงตามขวาง ฉะนั้นความยาวของอิฐจึงเป็นความกว้างของผนัง ซึ่งประมาณ 18 เซ็นติเมตร ทำให้ปริมาณรังสีที่ทะลุผ่านออกมาเหลือเพียง 0.0002 เรินเกนต่อมิลลิแอมป์–นาที ที่ระยะ 1 เมตร ซึ่งน้อยกว่าค่า B ที่คำนวนได้ ส่วนคอนกรีตบล็อคมีขนาดปกติ 9 เซนติเมตร จึงป้องกันได้ดีกว่า 8 เซนติเมตร เช่นกัน การแนะนำการป้องกันผนังห้องนี้เห็นสมควรให้ใช้อิฐหรือคอนกรีตบล็อก แล้วแต่ความพอใจของผู้รับผิดชอบของโรงพยาบาลแห่งนั้น เพื่อให้เหมาะสมกับอาคารทั้งหลัง เพราะราคาค่าก่อสร้างประมาณเท่า ๆ กัน

ตัวอย่างที่ 2 (การป้องกันรังสีสะท้อน)

โรงพยาบาลแห่งหนึ่งมีคนไข้ 500 คน ต่อวัน การถ่ายรังสีเอกซ์ให้แก่คนไข้ ใช้ค่า 40 มิลลิแอมป์–วินาที ต่อครั้ง จะต้องคำนวนหาความหนาของวัสดุที่จะทำฉากป้องกันรังสีเพื่อป้องกันเจ้าหน้าที่ขณะถ่ายฟิล์มให้คนไข้ โดยที่เจ้าหน้าที่จะต้องอยู่ที่เครื่องควบคุมซึ่งอยู่ห่างจากคนไข้ขณะถ่ายรังสี 2 เมตร

วิธีคำนวน



ในที่นี้จะป้องกันเจ้าหน้าที่รังสี ฉะนั้น $P = 0.1$ เรินเกนต่อสัปดาห์

$d = 2$ เมตร

และจะป้องกันเฉพาะรังสีสะท้อนเท่านั้น เพราะการถ่ายรังสีเอกซ์จะมีแบบถ่ายลงตรง ๆ บนเตียง และถ่ายปอดซึ่งทิศทางลำรังสีจะต้องพุ่งเข้าหาผนังด้านตรงข้ามกับตำแหน่งของเจ้าหน้าที่รังสี (เป็นกฎที่จะต้องแนะนำให้โรงพยาบาลทุกแห่งปฏิบัติ) จึงใช้สูตร (2-3)

$$B_s = \frac{10^{+3}\ Pd^2}{1.7\ WT}$$

$W = \frac{40}{60} \times 500 \times 5 = 1700$ มิลลิแอมป์-นาที ต่อสัปดาห์

$T = 1$ เพราะเจ้าหน้าที่จะต้องประจำทุกครั้งขณะถ่ายรังสีเอกซ์ให้คนไข้

$B_s = 0.14$ เรินเกนต่อมิลลิแอมป์-นาที ที่ระยะ 1 เมตร

เมื่อพิจารณาความหนาของวัสดุต่าง ๆ ดังรูปที่ 4-20 ถึง 4-32 จะได้ดังตารางที่ 5-2 **โดยพิจารณาที่ 100 กิโลโวลต์**

ตารางที่ 5-2

ชนิด ความหนา และราคาค่าก่อสร้าง

เพื่อป้องกันรังสีเอกซ์ตามตัวอย่างที่ 2 ได้เพียงพอ

วัสดุ	ความหนา (ซม.)	ราคาค่าก่อสร้างรวมวัสดุ ตารางเมตรละ (บาท)	ความหนาปกติ (ซ.ม)
ตะกั่ว	0.005	350	0.15
สังกะสี	0.03	50-80	0.03
อิฐ	1.5	90	7.0
กระจก	0.5	200	-
คอนกรีตบล็อก	1.0	120	4
กระเบื้องแผ่นเรียบ	0.6	150	0.6

อิฐโมกปูนมีความหนาปกติประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งสามารถป้องกันรังสีได้ดีกว่าความหนา 1.5 เซนติเมตร เท่าที่คำนวนไว้ คอนกรีตบล็อกก็เช่นกัน ความหนาต่ำสุด 4 เซนติเมตร ฉะนั้นวัสดุทั้งสองทำฉากป้องกันรังสีได้ดี ส่วนตะกั่วราคาแพงมากและเท่าที่มีขายในท้องตลาดมีความหนาประมาณ 0.15 เซนติเมตรเท่านั้น (ราคาที่กล่าวในตารางที่ 5-2 เป็นราคาของตะกั่วขนาด 0.15 เซนติเมตร ที่ทำขายอยู่ขณะนี้) สังกะสีและกระเบื้องแผ่นเรียบก็สามารถทำฉากป้องกันรังสีได้ในระดับเช่นนี้ ส่วนวัสดุอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงไม่สามารถป้องกันได้เพียงพอ กระจกบนหน้าต่างฉากป้องกันรังสีจะต้องป้องกันรังสีได้เท่ากับตัวฉาก จึงให้ใช้หนา 0.5 เซนติเมตรเป็นอย่างต่ำ

ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

5.6 ความคลาดเคลื่อนของการวัด

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ว่า การทดลองแต่ละครั้งได้ทำการวัดซ้ำกัน 4 ครั้ง แล้วนำเข้าที่อ่านได้มาเฉลี่ย ต่อไปนี้จะหาว่าค่าเปอร์เซนต์ของการทะลุผ่านออกมาที่คำนวนได้มีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเท่าใด โดยสุ่มตัวอย่างมา 4 ค่าด้วยกันจากการทดลองของสังกะสี สูตรที่ใช้ได้แก่[2]

$$\left(\frac{\sigma}{Y}\right)^2 = \left(\frac{\sigma_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{X_2}\right)^2$$

เมื่อ σ เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

$$Y = \frac{X_1}{X_2}$$

---

[2] E. Bright Wilson, Jr. An Introduction to Scientific Research. McGraw-Hill Book Company Inc. 1952 หน้า 272-273

ในที่นี้ x_2 ก็คือ I_o หรือปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้ในอากาศ

x_1 ก็คือ I_x หรือปริมาณรังสีเฉลี่ยที่วัดได้ในตำแหน่งเดียวกัน แต่มีวัสดุหนา X มากั้น

σ_1 เป็น Standard Deviation ของ x_1

σ_2 เป็น Standard Derviation ของ x_2

จากการทดลอง เมื่อวัดรังสีในอากาศได้ค่า 280,270,272 และ 272 มิลลิเริงเกนซ์

$$\therefore \quad x_2 = \frac{280 + 270 + 272 + 272}{4} = 273.5$$

ตารางที่ 5–3

ความคลาดเคลื่อนของการหาเปอร์เซนต์ของรังสีที่ทะลุผ่านสังกะสีออกมา

สังกะสี หนา มม.	ปริมาณรังสีที่อ่านได้ มิลลิเริงเกนซ์ x_{1i}	x_1	σ_1^2	Y	เปอร์เซนต์ของความคลาดเคลื่อน (σ)
0.62	58.0 57.0 59.0	58.0	1.00	0.212	1.44
1.24	28.0 27.5 27.5	27.75	0.094	0.102	0.50
1.55	20.8 21.0 21.0	20.9	0.015	0.076	0.36
2.48	9.8 10.0 9.8	9.87	0.013	0.036	0.20

โดยที่ $\sigma_1^2 = \frac{1}{n-1}\sum(x_1 - x_{1i})^2$

เมื่อ n เป็นจำนวนครั้งที่วัด

x_{1i} เป็นปริมาณรังสีที่อ่านแต่ละครั้ง

จากการสุ่มตัวอย่างนี้ จะเห็นว่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 2%

5.7 ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดรังสี

จากข้อ 4.3 แสดงว่าเครื่อง E.I.L.Electrometer ที่ใช้ มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน ±10% แต่ความคลาดเคลื่อนนี้ไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะเกิดจากการออกแบบของเครื่อง

5.8 ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ที่ใช้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่ากิโลโวลต์ และมิลลิแอมป์-วินาที ที่ตั้งได้ ทั้งนี้เพราะใช้ไฟจากสายหลัก การแปรค่าของกำลังไฟฟ้าที่ใช้จะมีผลให้ค่าทั้งสองดังกล่าวแปรค่าไปได้ การแก้ไขความคลาดเคลื่อนของค่ากิโลโวลต์ ทำได้โดยการปรับกระแสไฟที่เข้าเครื่องให้คงที่จากระบบของเครื่อง ค่ามิลลิแอมป์-วินาทีนั้นอ่านได้จากสเกลบนเครื่องควบคุม จากการบันทึกค่าที่อ่านได้ และค่าที่ตั้งไว้ปรากฏว่าให้ความผิดพลาดสูงสุด ± 10% วิธีแก้ไขที่ดีที่สุดก็คือการอ่านค่าซ้ำ ๆ กัน แต่ไม่เกิน 5 ครั้ง เพราะจะทำให้เครื่องอาจร้อนจัดจนแตกได้ ถึงแม้ว่าจะเว้นระยะการทดลอง เพื่อให้เครื่องระบายความร้อนทันแต่การเว้นระยะนานเกินไปทำให้การทดลองล่าช้า และทดลองวัสดุหนึ่ง ๆ ไม่เสร็จภายในวันเดียวกัน การทดลองข้ามวันอาจทำให้ผลผิดพลาดไป เพราะปริมาณรังสีที่อ่านได้ในแต่ละวันคลาดเคลื่อนไปจากกัน เช่น วัดรังสีในอากาศที่ 1 เมตร 80 กิโลโวลต์ 10 มิลลิแอมป์-นาที 370 มิลลิเรินเกนซ์ แต่ในบางวันลดลงเหลือเพียง 340 มิลลิเรินเกนซ์ จึงต้องพยายามให้เสร็จภายในวันเดียว

5.9 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวัสดุ

วัสดุบางอย่างมีโพรงอากาศภายใน หรือวัสดุที่เบาบางอย่าง เช่น เซฟวิ่งบอร์ด เกิดจากการใช้ถาวอัดเศษไม้ให้เป็นแผ่น วิธีกรรมที่ผลิตอาจทำให้ความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ผลการทดลองผิดพลาด จากการหาความหนาแน่นของวัสดุหลาย ๆ แผ่นปรากฏว่าความคลาดเคลื่อนของความหนาแน่นที่หาไม่เกิน ±5 %

5.10 ความคลาดเคลื่อนรวมของการทดลอง

จากข้อ 5.6, 5.7, 5.8 และ 5.9 รวมแล้วความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของการทดลองไม่เกิน ± 30% ซึ่งในด้านการป้องกันรังสีนั้นจะต้องคาดคะเนอัตราการทำงานของเครื่องสูงกว่าที่เป็นจริงประมาณเท่าตัว เพื่อให้การป้องกันเพียงพอจริง ๆ ดังกล่าวในบทที่ 2 ฉะนั้นการผิดพลาดของการทดลองจึงไม่มีผลต่อการพิจารณาการป้องกันแต่อย่างใด นับว่าผลการทดลองให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงในช่วงที่จะนำมาใช้ปฏิบัติงาน.

ความคิดเห็น

จากการทดลองสรุปย่อ ๆ ได้ว่า วัสดุที่มีความหนาแน่นมาก สามารถดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ดีกว่าวัสดุที่เบาหรือมีความหนาแน่นน้อย วัสดุทุกชนิดสามารถดูดกลืนรังสีที่ค่ากิโลโวลต์ต่ำ ๆ ได้ดีกว่าที่ค่ากิโลโวลต์สูง ๆ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนตามเส้นของวัสดุทุกชนิดเป็นค่าไม่คงที่ ทั้งนี้เพราะลำรังสีเอกซ์มีความถี่หรือพลังงานหลายขนาด ในด้านการป้องกันเมื่อได้พิจารณาจากผลสรุปในข้อ 5.1, 5.2 และตัวอย่างการคำนวนการป้องกันรังสีในข้อ 5.5 พอจะสรุปได้ว่า

วัสดุที่สามารถใช้ป้องกันรังสีปฐมภูมิหรือรังสีที่พุ่งจากหลอดรังสีเอกซ์โดยตรง ได้แก่ อิฐ คอนกรีตบล็อก ตะกั่ว แบไรท์ เมื่อพิจารณาในด้านค่าก่อสร้าง อิฐและคอนกรีตบล็อกราคาใกล้เคียงกัน จึงจะแนะนำให้ใช้ในการป้องกันรังสีปฐมภูมิ ส่วนตะกั่วราคาแพงกว่ามาก จึงไม่นิยมใช้ป้องกันรังสีเอกซ์ชนิดวินิจฉัยโรค แบไรท์เป็นแร่หินชนิดหนึ่งซึ่งเพิ่งพบในจังหวัดจันทบุรี มีลักษณะคล้ายหินอ่อน กรมทรัพยากรธรณีสนใจที่จะสกัดมาใช้แทนหินอ่อน ไม่ทราบราคาค่าก่อสร้าง เพราะยังไม่มีการทำเป็นอุตสาหกรรม

นอกเหนือจากวัสดุที่ใช้ป้องกันรังสีปฐมภูมิดังกล่าวแล้วนี้ กระเบื้องแผ่นเรียบ กระจก และสังกะสี อาจใช้ป้องกันรังสีทุติยภูมิหรือรังสีสะท้อนจากคนไข้ได้

วัสดุที่ไม่อาจพิจารณาให้เป็นวัสดุป้องกันรังสี ได้แก่ ไม้ทุกชนิด ไม้อัด เชฟวิ่งบอร์ด กระดาษอัด หรือวัสดุที่มีความหนาปรกติน้อยกว่าความหนาครึ่งค่า

การจะเลือกว่าสมควรใช้วัสดุใดป้องกันนั้น ต้องแล้วแต่กรณีไป โดยพิจารณาในด้านเศรษฐกิจและความเหมาะสมกับอาคารแห่งนั้นเป็นหลัก.