บทความพิเศษ

บันทึกการสำรวจปริมาณรังสีโดยรอบห้องเครื่องเร่งอนุภาค ณ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์

ศิวลี สุริยาปี*
จงจินต์ ภัทรมนตรี* สุรีย์ ฐิตะฐาน*

Suriyapee S, Pataramontree J, Thitathan S. The report of radiation survey around the linear accelerator site at Chulalongkorn Hospital. Chulal Med J 1991 Oct; 35(10): 625-630

Clinac 1800 the therapy linear accelerator was installed at the Department of Radiology, Chulalongkorn Hospital in November 1989. The thickness of the linear accelerator building was calculated by a group of physicists based on the recommendation of NCRP for the purpose of radiation safety. Radiation monitoring was carried out around the accelerator by using the ionization chamber. The levels from meter readings were compared to that calculated dosage remained behind the barrier and the results are shown. There was nowhere that the radiation exceeded the maximal limit permissible for the personnel as well as the general public. The principle of the calculation was correct and the construction of the building was satisfactory.

Key words : Radiation survey, Linear accelerator, Radiotherapy.

Reprint request : Suriyapee S, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.
Received for publication. April 27, 1990.

* ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องเร่งอนุภาค Clinac 1800 ซึ่งได้ติดตั้งที่โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์เป็นเครื่องเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงถึง 20 ล้านอิเล็กตรอนโวลต์ (20MeV) เมื่ออิเล็กตรอนชนโลหะทังสเตนก็จะคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานสูงสุด 10 ล้านโวลต์ (10MV) รังสีเอกซ์นี้มีอำนาจทะลุทะลวงสูงมากสามารถทะลุผ่านกำแพงคอนกรีตหนา 2 เมตรได้โดยที่ปริมาณรังสีลดลงเหลือเพียง 1 ส่วน จากเดิม 50 ส่วน ส่วนลำอิเล็กตรอนนั้นไม่สามารถทะลุผ่านออกมาได้เลย รังสีเอกซ์จึงเป็นรังสีที่ควรจะระวังในการใช้โดยไม่ยอมให้ผู้ใดได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น

แม้ว่าลำรังสีเอกซ์เป็นสิ่งที่มีอยู่แต่ไม่สามารถมองเห็นได้ มีอำนาจทำลายเซลล์สูง ทำให้โครโมโซมผิดปกติได้ก็ตาม แต่รังสีเอกซ์ก็ถูกนำมารักษาโรคมะเร็งได้ ดังนั้นในการนำเครื่องเร่งอนุภาคมาใช้ในการแพทย์จึงจำเป็นต้องสร้างห้องที่มีกำแพงหนาเพื่อกำบังรังสีมิให้รังสีทะลุออกมานอกห้องเกินกว่า 100 มิลลิเรินเกนต์ต่อสัปดาห์ เพื่อความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่ ส่วนในบริเวณอื่นที่มีประชาชนนั่งพักหรือสัญจรไปมา ค่าปริมาณรังสีควรไม่เกิน 10 มิลลิเรินเกนต์ต่อสัปดาห์ นี่เป็นกฎสากลที่คณะกรรมาธิการการป้องกันอันตรายจากรังสี (The International Commission on Radiation Protection[1] หรือ ICRP) กำหนดไว้ ค่าตัวเลขเหล่านี้เรียกว่าค่า maximum permissible dose หรือค่า MPD

คณะกรรมการการป้องกันอันตรายจากรังสีและการวัดรังสีแห่งชาติ (The National Committee on Radiation Protection and Measurements หรือ NCRP) ได้ทำการศึกษาธรรมชาติของรังสี ผลของรังสีทางชีววิทยา[2] และสร้างสูตรขึ้นมาคำนวณหาความหนาของผนังคอนกรีตเพื่อการกำบังรังสี[3] พร้อมทั้งกำชับให้ระวังในการใช้รังสี โดยให้ประชากรได้รับรังสีต่ำที่สุดเท่าที่จะต่ำได้

อาคารเอลิสะเบธ จักรพงษ์ เป็นอาคารติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาคหลังแรกในไทยที่ได้วางแผนผังและกำหนดความหนาของผนังห้องเครื่องเร่งอนุภาคโดยความรู้ของนักฟิสิกส์ประจำแผนกรังสีวิทยา จึงขอนำเสนอบันทึกวิธีการคิดคำนวณและผลการสำรวจค่าปริมาณรังสีมา ณ ที่นี้

การคำนวณค่าปริมาณรังสีเมื่อได้ผ่านความหนาของผนังคอนกรีตของห้องเครื่องเร่งอนุภาค

ในการคำนวณค่าความหนาของผนังห้องคอนกรีตที่ใส่เครื่องเร่งอนุภาคนั้นจำเป็นต้องกำหนดค่า parameter ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้คือ

1. หาค่า Workload (W)

Workload หมายถึง ปริมาณรังสีที่ใช้รักษาผู้ป่วยต่อสัปดาห์ ส่วนมากนิยมคิดว่าต้องการรักษาผู้ป่วยจำนวน 50 รายต่อวัน ผู้ป่วยแต่ละรายได้รับรังสี 400 แรดส์ และมารับการฉายรังสีสัปดาห์ละ 5 วัน ส่วนเครื่องเร่งอนุภาคให้รังสี 240 แรดส์ต่อนาที ที่ตำแหน่งของการรักษา (ตำแหน่ง isocentre) ดังนั้นจำนวนปริมาณรังสีที่ใช้รักษาผู้ป่วยจึงมีค่า 10^8 มิลลิเรมต่อสัปดาห์

2. หาค่า Use factor (U)

Use factor เป็นสัดส่วนของ workload ตามทิศทางของการฉายรังสี เช่น เมื่อฉายรังสีลงพื้นค่าแฟคเตอร์ = 1 ฉายเข้าผนังห้องค่าแฟคเตอร์ = 1/4 เป็นต้น

3. หาค่า Occupation factor (T)

Occupation factor เป็นสัดส่วนของ workload เมื่อคำนึงถึงบริเวณด้านหลังของผนังห้อง โดยสำรวจว่ามีผู้ใช้งานอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ ถ้าใช้งานตลอดเวลาใช้แฟคเตอร์ = 1 ถ้าเป็นทางเดินใช้แฟคเตอร์ = 1/4 ถ้าเป็นหลังคาใช้แฟคเตอร์ = 1/16 เป็นต้น

4. หาค่า Transmission factor ของรังสีปฐมภูมิ รังสีสะท้อน รังสีเล็ดลอด (Bp, Bs, Bl ตามลำดับ)

Transmission factor เป็นสัดส่วนของปริมาณรังสีที่เหลือหลังจากที่รังสีได้ทะลุผ่านความหนาของผนังคอนกรีตมาแล้ว ในการคำนวณหาความหนาของผนังห้องนิยมคำนวณความหนาอย่างคร่าว ๆ เสียก่อนจากค่า half value layer (HVL) และ ten value layer (TVL) ตามสัดส่วนของขนาดห้อง[4] แล้วจึงปรึกษากับสถาปนิกเพื่อวางแผนผังของตึกดังตัวอย่างแผนผังในรูปที่ 1 ต่อจากนั้นจึงคำนวณหาค่าปริมาณรังสีที่จะทะลุออกจากตัวตึกสู่ภายนอกโดยอาศัย transmission curve[5] ในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงค่าที่คำนวณได้ไว้ในคอลัมน์ที่ 7 ของตารางที่ 1

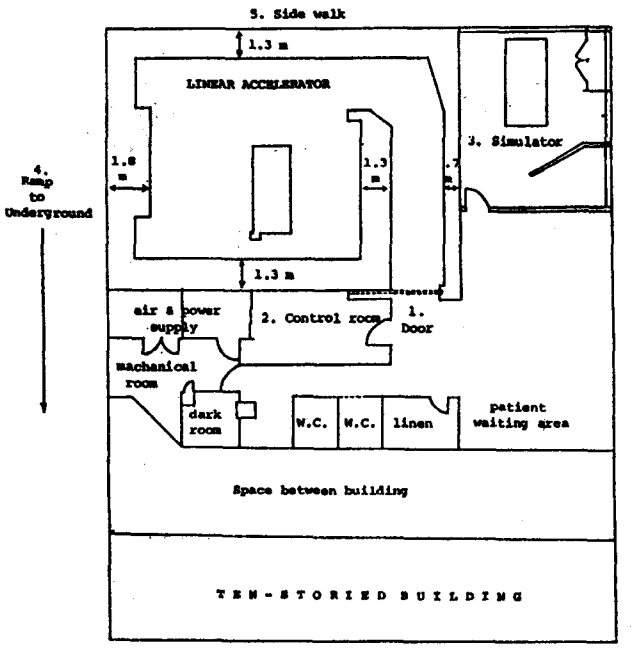

Figure 1. The schematic diagram of a single storey building for therapy linear accelerator shows the location of radiation surveys and results.

1. The door.....11.6 mrem/wk (door open)
2. The console.....0.0 mrem/wk at 5.5 m. from isocentre
3. The room for simulator.....2.7 mrem/wk at 8.5 m. from isocentre
4. The ramp to underground....4.5 mrem/wk at 8.0 m. from isocentre
5. The side walk.....0.0 mrem/wk at 5.5 m. from isocentre

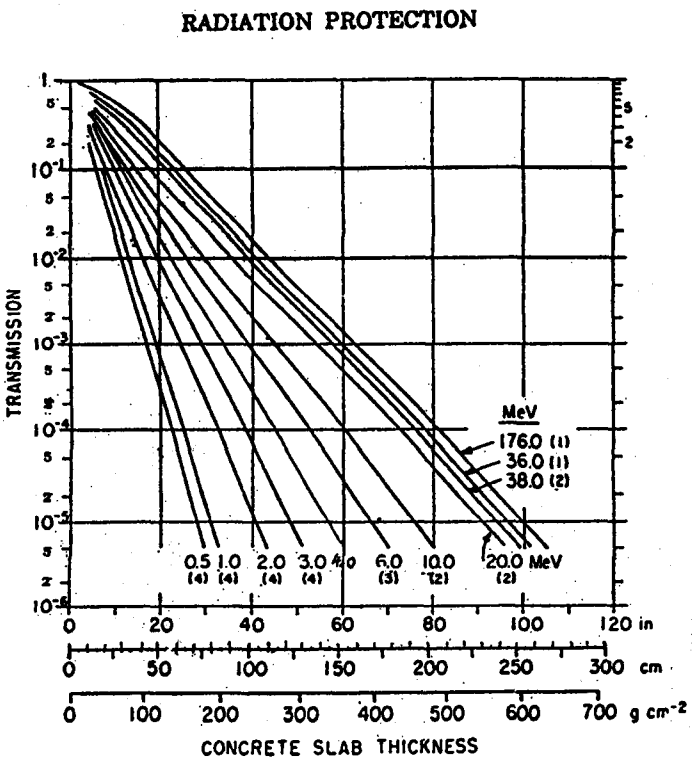

Figure 2. Transmission of x-rays through ordinary concrete (density 2.3 gm/cm^3), under broad-beam condition. (From NCRP Report No.51)

Table 1. Radiation dose around the accelerator site (calculation vs survey).

Location	radiation type	Occup. fact. (T)	Used fact. (U)	Distance in meter (d; d')	Shield thick. (cm)	Transmis. factor (B)	Cal.dose mrem/wk	Measur.dose mrem/wk 1st	2nd
1. Door	l	1	1	8.0;-	>130	4.2×10^{-4}	<1.31		
open	s	1	1/4	6.5;3.3	130	4.2×10^{-4}	2.55 = 12.7	11.6	
	s	1	1	7.0;9.6	-	-	8.86		
2. Console	l	1	1	5.5;-	130	4.2×10^{-4}	2.8	0.0	0.0
3. Simulat.	p	1	1/4	8.5;-	200	7.0×10^{-6}	2.4	2.7	2.3
4. Ramp	p	1/4	1/4	8.0;-	180	2.3×10^{-5}	3.5	4.5	3.5
5. Sidewalk	l	1/4	1	5.5;-	120	8.0×10^{-4}	1.3	0.0	0.0
6. Roof	p	1/16	1/4	5.5;-	180	2.3×10^{-4}	1.8	2.6	1.8

N.B :- The beam on period is 6.7 hours per week, dose rate 240 rad/min and the work hour is 40 hours per week.
- The abbreviated letter for type of radiation;
l = leakage radiation, s = scattered radiation, p = primary radiation.

ในการสร้างเครื่องเร่งอนุภาค รังสีที่จุดกำเนิดจะถูกหุ้มด้วยถ้ำตะกั่วโดยรอบ เปิดให้ลำรังสีออกมาได้เพียงจุดเดียวและยังมีระบบไดอะแฟรมเป็นตัวกำหนดขนาดของลำรังสีอีกด้วย ถึงกระนั้นก็ตามรังสียังมีโอกาสเล็ดลอดผ่านรอยต่อของไดอะแฟรมได้อีกในบริเวณโดยรอบ 10 องศา นอกจากนี้ยังมีการสะท้อนของรังสีเกิดขึ้นภายในห้องได้ด้วย ซึ่งรังสีสะท้อนนี้มีค่าพลังงานโดยเฉลี่ย 500 กิโลโวลต์[6] (500 kV)

จากเส้นกราฟในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า transmission ของรังสีที่พลังงานต่าง ๆ และความหนาของแผ่นคอนกรีต พบว่า

รังสี 500 kV มีค่า HVL = 3.5 ซ.ม.คอนกรีต
มีค่า TVL = 11.5 ซ.ม.คอนกรีต
รังสี 10 MV มีค่า HVL = 12.0 ซ.ม.คอนกรีต
มีค่า TVL = 40.0 ซ.ม.คอนกรีต

5. หาค่าระยะทางจากจุดกำเนิดรังสีถึงจุดที่ต้องการคำนวณปริมาณรังสี (d)

โดยธรรมชาติ ค่าปริมาณรังสีจะมีค่าลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นตามกฎ inverse square law ในการคำนวณนิยมใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ

d = ระยะทางจากจุด isocentre ที่ทราบค่าปริมาณรังสีแล้วถึงจุดที่รังสีตกกระทบบนผนังตึก

d' = ระยะทางจากผนังตึกถึงจุดที่ต้องการคำนวณปริมาณรังสี

6. หาขนาดพื้นที่ของลำรังสีตกกระทบอันเป็นต้นกำเนิดของรังสีสะท้อน (A)

ขนาดของลำรังสีที่ตกกระทบบนผนังจะขยายใหญ่ขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่ผนังอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสี เช่น ลำรังสีมีขนาด 40×40 เซนติเมตร ที่ isocentre (ตำแหน่ง isocenter อยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสี 1 เมตร) จะมีขนาด 80×80 เซนติเมตร ที่ระยะ 2 เมตร จากต้นกำเนิดรังสี

7. หาค่าแฟคเตอร์ของปริมาณรังสีเล็ดลอด หรือ leakage factor (x)

ค่า leakage factor ได้จากการวัดอัตรารังสีโดยรอบถ้ำตะกั่วในระยะ 1 เมตร จากจุดกำเนิดรังสี โดยทำการวัดในขณะที่ไดอะแฟรมถูกปิดสนิท แล้วนำมาเปรียบเทียบกับอัตรารังสีที่ใช้รักษาผู้ป่วย เครื่องของโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ มีค่า leakage factor = 0.002

8. หาค่าแฟคเตอร์ของปริมาณรังสีสะท้อน หรือ scatter factor (x')

จากการทดลองพบว่า ปริมาณรังสีสะท้อนซึ่งสะท้อนจากฝาผนังมีค่า = 0.02 เท่าของปริมาณรังสีตกกระทบ

9. หาค่าปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งต่าง ๆ รอบห้องเครื่องเร่งอนุภาคโดยคำนวณจากสูตรของ NCRP ดังต่อไปนี้ ค่าปริมาณรังสีที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น มิลลิเรมต่อสัปดาห์[4]

ปริมาณรังสีปฐมภูมิ = $WUTBp/d^2$

ปริมาณรังสีสะท้อน = $xWUTABs/d^2d'^2$

ปริมาณรังสีเล็ดลอด = $0.002WUTBl/d^2$

ปริมาณรังสีที่ประตูห้อง = $(xWUTABs/d^2d'^2) + (xx'WUTABl/d^2d'^2)$

ผลการวัดปริมาณรังสีโดยรอบห้องเร่งอนุภาค

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของตึกชั้นเดียวที่ได้ติดตั้งเครื่องเร่งอนุภาค ซึ่งอยู่ติดกับตึก 10 ชั้น ในรูปได้แสดงความหนาของผนังคอนกรีตและตำแหน่งที่วัดปริมาณรังสีได้ด้วยเครื่องสำรวจปริมาณรังสี (ionisation survey meter) ไว้ด้วย ได้ทำการวัดปริมาณรังสีเป็นครั้งแรกเมื่อตึกถูกสร้างเสร็จและติดตั้งเครื่องแล้วในวันที่ 28 พฤศจิกายน 2532 ต่อจากนั้นได้ทำการวัดซ้ำอีกเป็นครั้งที่ 2 ในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2534 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีที่คำนวณไว้ก่อนแล้วตามสูตรในข้อ 9 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสูตรและความถูกต้องของส่วนผสมพร้อมทั้งกรรมวิธีการเทคอนกรีตของช่างก่อสร้าง ผลการคำนวณและผลการวัดได้นำมาเปรียบเทียบไว้ในสองคอลัมน์ขวาสุดของตารางที่ 1

การวิเคราะห์ผลการวัดปริมาณรังสีและการเปรียบเทียบกับค่าจากการคำนวณ

การวัดปริมาณรังสีโดยรอบเครื่องเร่งอนุภาคในครั้งแรกพบว่าปริมาณรังสีที่บริเวณประตูหน้าห้อง มีค่าปริมาณรังสีสูงที่สุด แต่ก็ยังไม่เกินค่า maximum permissible dose สำหรับเจ้าหน้าที่ ถึงกระนั้นก็ยังได้จัดทำประตูตะกั่วหนา 6.35 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันรังสีเอกซ์ ใช้แผ่นโปลีเอทีลีนที่มีความหนา 5.08 เซนติเมตร ประกบเพื่อลดความเร็วของนิวตรอนอันอาจจะเกิดขึ้นได้ในห้อง ด้วยเหตุว่ารังสีเอกซ์ซึ่งมีพลังงานสูงนี้สามารถทำให้เกิดนิวตรอนได้เมื่อวิ่งชนกับผนังคอนกรีตหรือโลหะหนักของเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่วางอยู่ภายในห้อง จึงควรป้องกันไว้ (ในปัจจุบันนี้ยังตรวจไม่พบว่ามีนิวตรอนเกิดขึ้นในห้องเครื่องเร่งอนุภาคที่มีค่าพลังงาน 10 ล้านโวลต์[7] แต่คณะผู้บันทึกยังไม่มั่นใจ ถ้าหากเครื่องวัดปริมาณนิวตรอนถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นในอนาคตก็อาจจะมีโอกาสตรวจจับนิวตรอนได้ไวขึ้น) อีกเหตุผลหนึ่งของการทำประตูก็คือ ป้องกันคนเดินเข้าไปในห้องธรรมชาติของคนมักจะเดินเข้าออกอย่างไม่ระวังเมื่อทางเข้าเปิดอยู่ โอกาสที่จะเดินเข้าไปในห้องขณะเปิดรังสีอยู่ (beam on) ย่อมเป็นไปได้สูง ทำให้ได้รับรังสีโดยไม่จำเป็น เมื่อได้ติดตั้งประตูห้องแล้วปรากฏว่าไม่มีรังสีผ่านออกมาได้เลย

ในการวัดปริมาณรังสีครั้งที่สอง ซึ่งห่างจากครั้งแรกเป็นเวลา 15 เดือน พบว่า ปริมาณรังสีที่วัดได้ในทิศทางของ primary radiation มีค่าลดลงทั้ง ๆ ที่ได้วัด ณ ตำแหน่งเดิมค่าอัตรารังสีเท่าเดิม และใช้เครื่องวัดเครื่องเดิม ทำให้ดูเสมือนว่าคอนกรีตมีความแข็งแรงจับตัวกันแน่นขึ้นสามารถดูดกลืนรังสีได้ดีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเหตุผลที่แท้จริงเป็นอย่างไรนั้นสุดความสามารถที่คณะผู้บันทึกจะอธิบายได้

อย่างไรก็ตาม ความสบายใจก็ได้บังเกิดขึ้นเมื่อได้พบค่าปริมาณรังสีที่ได้จากการวัดและการคำนวณนั้นใกล้เคียงกัน แม้ว่าในขณะที่ตัวอาคารสร้างเสร็จใหม่ ๆ จะมีบางจุดที่ค่าปริมาณรังสีที่วัดได้มากกว่าที่คำนวณได้ แต่ในปัจจุบันนี้ค่าปริมาณรังสีทุกจุดได้ลดลงใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณไว้ทั้งสิ้นและมีค่าต่ำกว่าค่า MPD สำหรับประชากรทั่วไปอีกด้วย จึงมั่นใจได้ว่าความปลอดภัยจะบังเกิดแก่ผู้ที่สัญจรผ่านไปผ่านมาด้วย มิใช่แต่เฉพาะเจ้าหน้าที่รังสีเท่านั้น ผู้ที่ทำงานอยู่ในตึกสิบชั้นอันเป็นอาคารที่ติดกันก็จะไม่ได้รับรังสีเลย

เพื่อความไม่ประมาทคณะผู้บันทึกควรทำการสำรวจปริมาณรังสีในบริเวณต่าง ๆ เพื่อหารอยรั่วของรังสีเป็นประจำทุกปีอีกต่อไปด้วย เนื่องจากอาจมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของคอนกรีตเกิดขึ้นได้

อนึ่งเจ้าหน้าที่รังสีทุกท่านผู้ได้ทำงานประจำที่ตึกเอลิสะเบธจักรพงษ์ (ห้องเครื่องเร่งอนุภาค) และตึกว่องวานิช (ตึกสิบชั้น) ต่างก็ได้รับเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลไว้ใช้ มีการตรวจวัดและบันทึกปริมาณรังสีที่ได้รับเป็นประจำทุกเดือนอีกด้วย ผลปรากฏว่ายังไม่มีผู้ใดได้รับปริมาณรังสีเกินกว่าค่า MPD หรือเป็นอันตรายเนื่องจากรังสีเลย

สรุป

ผลการวัดปริมาณรังสีรอบ ๆ ห้องเครื่องเร่งอนุภาคด้วยเครื่อง ionization survey meter สอดคล้องกับการ

คำนวณตามสูตรซึ่งเสนอโดยคณะกรรมการการป้องกันอันตรายจากรังสี (NCRP) แสดงว่าสูตรนี้ใช้ได้และการก่อสร้างอาคารถูกต้องตามข้อกำหนด ที่น่าสังเกตคือค่าปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อสร้างตึกเสร็จใหม่ ๆ มีค่ามากกว่าค่าปริมาณรังสีที่วัดได้ในปีต่อมา ดังนั้นการสำรวจค่าปริมาณรังสีจึงควรกระทำต่อเนื่องกันเป็นประจำทุกปี เพื่อความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่ประจำเครื่องเร่งอนุภาคและประชาชนทั่วไปที่เดินผ่านเข้ามาในบริเวณนี้ อย่างไรก็ตามในขณะนี้ทุกคนได้รับการป้องกันอันตรายจากรังสีอย่างดีเพียงพอและปลอดภัย

Refereces

1. International Commission on Radiation Protection (ICRP). Recommendation of The ICRP. ICRP Publication 9. Oxford: Pergamon, 1966.
2. National Committee on Radiation Protection and Measurements. Maximum permissible radiation exposures to man. Radiology 1958 Aug; 71(2): 263-6
3. National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical X-Ray and Gamma-Ray Protection for Energies up to 10 MeV Equipment Design and Use. NCRP Report no. 33; Washington, D.C., 1968. 41
4. National Committee on Radiation Protection and Measurements. Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X-Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV. NCRP Report No. 43: Washington, D.C., 1976.
5. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation Protection design Guidelines for 0.1-100 MeV Particle Accelerator Facilities. NCRP Report no. 51: Washington, D.C., 1977.
6. Karzmark CJ., Capone T. Measurements of 6 MV x-rays. II. Characteristics of secondary radiation. Br J Radiology 1968; 41(483): 222-6.