

醫療用 線型加速器에 의한 散亂空間 線量分布와 誘導放射能

秋 成 實 · 朴 昌 潤

延世大學校 醫科大學 放射線科學敎室

= 要 約 =

放射線의 醫學的 診斷治療 利用率이 增加함에 따라 醫療人과 患者들에 대한 放射線 被曝確率이 比例的으로 增加되어 定量的인 分析和 被曝管理의 必要性이 要求되고 있다.

延世 암센터는 癌治療를 위하여 設置使用되고 있는 醫療用 高에너지 線型加速器에 대한 漏出 및 散亂線의 防禦壁과 防禦計劃이 이미 準備되어 있다.

그러나 裝置의 使用頻도가 增加됨에 따라 治療室內의 空間 線量分布와 光核反應으로 인한 誘導放射能의 危險性을 認識하고 이들에 대한 露出量을 電離函, 熱螢光測定器 및 에너지 分析器等을 利用하여 測定하였다.

18 MeV 電子線에 의한 空中線量은 1 m 地點에서 腫瘍線量の 0.02%였고 X線에 의한 空中線量은 約 0.12%였다.

線型加速器에서 10 MV X線을 30 Gy 照射한 직후 光核反應에 의한 誘導放射能을 測定한 結果 0.65 mR/hr 였으며 光核反應에 의한 中性子 放射化는 주로 Cu-64, W-185, Mo-94, Ta-182等의 元素로 推定할 수 있었다.

I. 緒 論

醫學의 發展과 더불어 이미 20여대의 醫療用 高에너지 線型加速器가 國內에 設置되어 증가 추세의 癌患者 診療에 상당한 도움을 주고 있다.

그러나 線型加速器에서 發生되는 수십 메가電子볼트의 放射線과 漏出 및 散亂線은 放射線作業 從事者들에 대한 放射線 被曝의 原因이 되므로 이미 原子力法에 基準된 最大許容線量이 넘지 않도록 防禦壁과 防禦門等 治療室의 構造設計에 注意를 기울이고 있다.

그러나 에너지의 上昇과 線量率의 增加는 治療室內의 空間線量을 增加시키며 특히 高에너지 光子線이나 電子線에 의한 周圍 物質의 放射化 現象^{1,2)}은 放射線 作業 從事者 뿐 아니라 施設 出入者에게까지 被害를 줄 수 있는 危險을 갖고 있다.

이러한 觀點에서 延世癌센터에 設置된 18 MeV 醫療用 線型加速器(NEC-1018)에서 發生되는 治療室內의 空間線量分布를 인가에너지와 放射線 種類에 따라 測

定하였다.

또한 高에너지 放射線에 의한 光中性子の 放射化 現象을 測定함으로써 高에너지 線型加速器를 使用하는 모든 機關에 從事하는 放射線 作業 從事者들의 被曝低減에 기여하고자 하였다.

II. 測定 方法

1. 空間 散亂線量の 測定

放射線 照射中 治療室內에 發生되는 空間 散亂線量の 測定은 18 MeV 醫療用 線型加速器의 最大 에너지이며 使用頻도가 높은 18 MeV 電子線과 10 MV X線을 대상으로 하였고 出力線量率은 加速器의 標的에서 1 m 떨어진 位置에서 通常 患者治療에 使用되는 線量率인 分當 300 rads 로 照射하였다.

散亂펜텀은 人體와 組織等價이고 크기가 비슷한 Rando 펜텀을 患者와 같은 位置에 仰臥位로 固定시켜 腰部에 照射하였다.

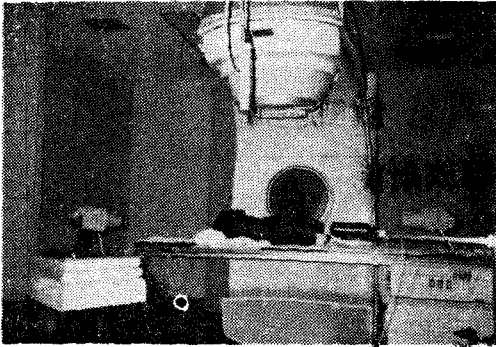


Fig. 1. Space dose measuring set up with survey meters, ion chamber and rando phantom.

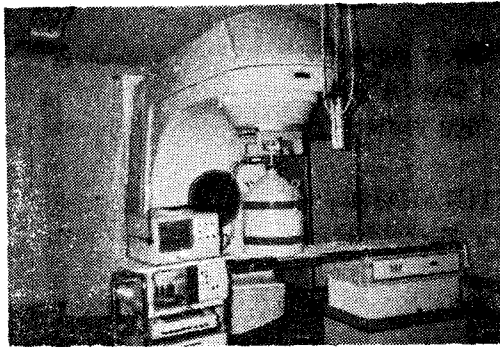


Fig. 2. Set up for measurement of induced activity and energy spectrum with Ge multi-channel analyzer.

이때 10 MV X線の 경우 照射面을 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 로 하였고 18 MeV 電子線인 경우 直径 18 cm의 圓形 照射面을 使用하였다.

空間散亂 線量分布 測定은 Fig. 1과 같은 方法으로 表面線量率을 300 rad/min로 1分間 照射하였을 때 마루에서 1.2 m 높이의 空間에 펜덤에서 50~100 cm間 隔으로 熱螢光 測定器(TLD, Harshow 3,000), 서베이메터(Panoramic, Victoreen)와 포켓線量計(Victoreen 450) 低線量用 電離箱(Capintec, Therarad I, RH-500)을 使用하여 3~4回 測定하고 그 平均値로 表示하였다.

2. 誘導放射能의 測定

高에너지 X線, 또는 電子線을 標의과 콜리메이터 構成物質에 照射됨으로써 光核反應이 일어나고 中性子를 비롯한 數種의 放射線이 發生되는 放射化 現象이 일어난다^{5,6)}.

放射線 治療後 放射化 物質로부터 發生되는 誘導放射能이 계속 放出되고 있으므로 測定位置에 따라 強度

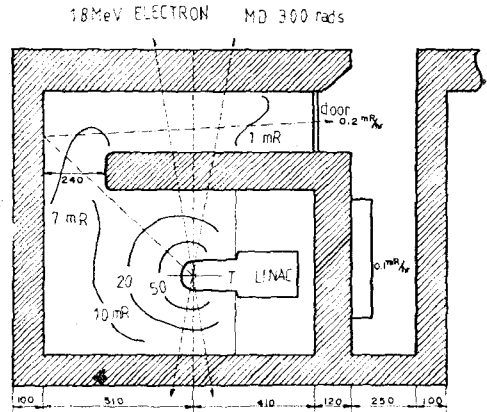


Fig. 3. Space dose distribution in the treatment room from 18 MeV electron.

의 變化를 測定할 수 있었다.

誘導放射能을 測定하기 위하여 18 MeV 醫療用 加速器에서 10 MV X線을 모니터 선량(Monitor dose) 30 Gy를 照射시킨 후 時間과 放射口로부터의 位置에 따라 誘導放射能을 測定하였다.

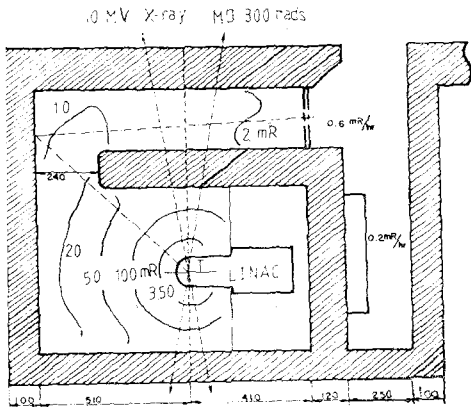
時間에 따른 誘導放射能의 崩壞率은 簡單한 GM計數器와 포켓線量計等을 使用하였으며 放射化 物質과 에너지 分布를 測定하기 위하여 Fig. 2와 같이 半導體測定器(Ge)가 附着된 에너지 분석장치(Multi-Channel Analyzer, Canberra 35 Series)를 使用하여 에너지를 分析하였다⁹⁾.

III. 實驗 結果

1. 空間 放射線量分布

醫療用 18 MeV 線型加速器에서 發生시킨 18 MeV 電子線을 圓形照射筒으로 標의에서 1 m距離에 位置한 人體等價펜덤에 吸收線量 300 rad/min를 1分間 照射시켰을 때 마루에서 1.2 m 높이의 水平面에 대한 平均空間放射線量分布는 Fig. 3과 같이 펜덤에서 1 m距離에 照射量의 約 1/6,000인 50 mR의 空間線量이 分布되었으며 3 m 떨어진 壁面에는 約 10 mR의 分布를 보였다.

10 MV X線을 標의에서 1 m距離에 位置한 펜덤에 照射面을 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 로 線量率 300 rad/min를 1分間 照射하였을 때 마루에서 1.2 m 높이의 水平面에 대한 平均空間放射線量分布는 Fig. 4와 같이 펜덤에서 1 m距離에 照射量의 約 1/800인 350 mR로 測定되었으



4. Space dose distribution in the treatment room from 10 MV X-ray beam.

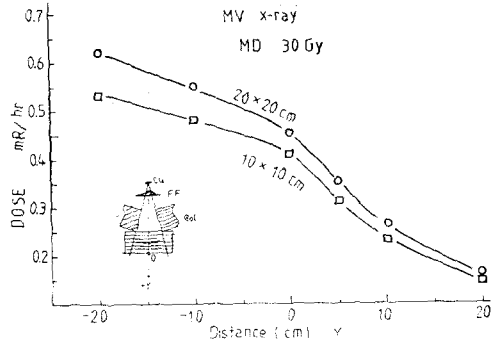
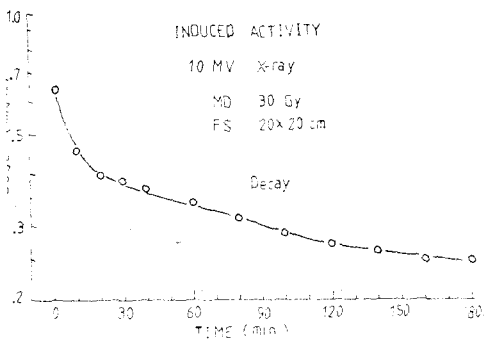


Fig. 5. Exposure dose rate distribution around collimator by induced activity



6. Decay curves per minute of induced activity by 10 MV X-ray

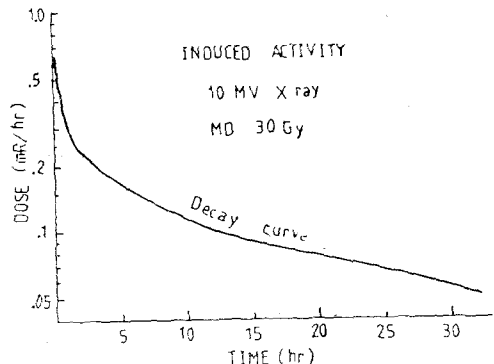


Fig. 7. Decay curve per hour of induced activity by 10 MV X-ray

m 떨어진 壁面에는 約 50 mR 의 分布를 나타내

2. 誘導放射能

療用 18 MeV 線型加速器에서 發生시킨 10 MV X-照射面 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 또는 $20 \times 20 \text{ cm}^2$ 으로 열고 分 00 rads 의 線量率로 總線量을 모니터線量(標的에서 지점의 선량)으로 30 Gy (3,000 rad) 照射한 후 光應에 의하여 生成된 誘導放射能을 測定하였다.

g. 5는 放射線 照射直後 放射口 入口로부터 位置 다른 誘導放射能을 測定한 것으로서 放射口 안쪽에서 0.65 mR/hr, 콜리메이터 外部 20 cm 에서는 mR/hr 의 誘導放射能이 檢出되었으며 照射面이 륵 誘導放射能도 增加되었다.

Fig. 6은 誘導放射能의 崩壞線量을 照射後 分單位로 測定한 것으로서 照射後 30분에 約 1/2로 急激히 減少하다가 서서히 消滅되며 崩壞曲線으로 보아 數種의 放射性 同元素에 의한 複合崩壞 形式으로 이루어졌다.

Fig. 7은 高에너지 放射線에 의한 誘導放射能을 時間에 따라 繼續測定한 것으로서 微弱하나마 半減期가 數日에 이르는 放射性 同元素들도 包含되어 있음을 알 수 있었다.

誘導放射能의 에너지分布를 測定하기 위하여 에너지 分析器(Multi channel analyzer)를 利用하였다.

Fig. 8은 線型加速器 放射口에서 放出되는 誘導放射能의 에너지 스펙트럼으로서 300 keV 以下の 低에너지 分布와 400~600 keV 의 比較的 높은 에너지를 가진 複合스펙트럼으로 測定되었다.

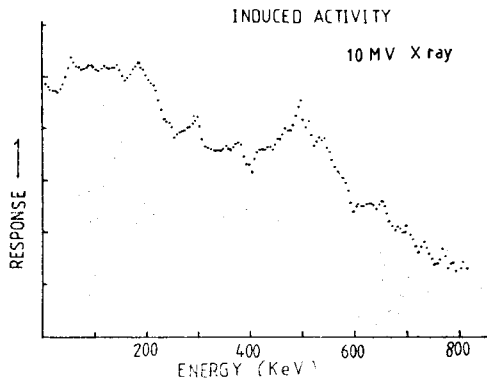


Fig. 8. Energy spectrum of induced activity by 10 MV X-ray beam

以上과 같은 붕괴곡선과 에너지 스펙트럼으로 분석 검토한다면 선형 가속기의 標의를 비롯한 平坦 濾過板 및 콜리메이터의 構成物質과 合金 및 不純物에 의한 光核反應으로 思慮되고 Table 1과 같은 放射化 元素들에 의한 誘導放射能으로 生覺할 수 있으며 특히 에너지가 約 500 keV 이고 半減期가 24時間인 $^{186}\text{W}(\gamma, n)$ ^{185}W 의 核反應과 半減期가 12時間인 $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)$ ^{64}Cu 의 核反應이 包含되었고, 그외에도 半減期가 짧은 ^{27}Al , ^{182}Ta , ^{94}Mo , ^{64}Fe 등의 不純物元素들도 包含되어 있을 을 推測할 수 있다.

IV. 考 察

疾病을 治療하기 위하여 加速에너지가 수십 MeV 에 이르고 露出線量이 分當 1~10 Gy 인 醫療用 高에너지 線型 가속기가 國內에도 20여대가 이미 設置되어 상당한 醫療水準을 보이고 있으며 放射線 危險에 대한 認識도 높아지고 있다.

加速器室에 대한 放射線 防禦를 위하여 加速器에서 發生된 1次線量, 散亂線 및 漏出線量에 대한 遮蔽計算과 治療室의 遮蔽壁 構造 등에 대한 基準이 이미 法에 依據施行하고 있다.

그러나 最近 加速器의 에너지가 10 MV 以上 增加되고 分當 수십 Gy 의 線量을 露出し킴으로서 空間線量, 誘導放射能 및 有毒가스 등에 대한 被曝의 危險성이 대두되고 있다^{8,10)}.

Onei 等¹¹⁾은 10 MV 以上の X線을 利用하는 治療室 內外에 無視할 수 없을 정도의 中性子가 存在한다고 警告하였다.

이들은 $\text{TLD}[\text{CaSO}_4(\text{T}_m) + {}^6\text{Li}]$ 와 $\text{CaSO}_4(\text{T}_m) + {}^7\text{Li}]$

의 測定差異를 ^{252}Cf 中性線源에 矯正하여 測定한 結果 300 rad/min 로 照射하였을 때 中性子 線量當量率이 340 mrem/hr 로 測定되었다.

Deye 等¹²⁾은 10 MV X線에서 1 m 距離에 300 rad/min 의 X線을 照射할 경우 2,280 mrem/hr 의 中性子 線量當量이 檢出되었다.

McGinley 等¹³⁾은 Bonner Sphere 에 의한 中性子를 測定하였는데 X線 出力이 1 m 에서 300 rad/min 일 때 10 MV X線일 경우 出入口에서 3.6 mrem/hr, 25 MV X線에서 51 mrem/hr, 45 MV 에서는 27 mrem/hr 의 中性子 線量當量이 測定되었다.

이와같이 高에너지 放射線을 使用하는 治療室에 대하여 光核反應에 의한 中性子の 發生과 이에 起因된 誘導放射能의 被曝에 대하여 標的, 콜리메이터等 構成物質이 反應臨界 에너지(threshold energy)가 높은 物質을 使用하도록 勸告하고 있으며 中性子の 正確한 測定은 精密한 中性子測定器를 갖춘 후 일일이 分析할 計劃이다.

V. 結 論

醫療用 高에너지 線型 가속器의 使用頻度가 增加함에 따라 高에너지 放射線의 1次線, 散亂線 및 漏出線에 의한 防護뿐만 아니라 治療室內의 空間線量分布 및 光核反應으로 인한 誘導放射能의 危險性을 認識하고 이들에 대한 露出線量을 測定함으로써 放射線 防禦에 도움을 주고져 한다.

1. 醫療用 加速器에서 發生된 18 MeV 電子線을 患者의 治療位置에서 300 rads 照射하였을 때 患者 治療部位에서 1 m 떨어진 空間에 約 50 mR 의 露出量이 測定되었다.

2. 10 MV X線의 경우 表面線量 300 rads 일 때 治療部位에서 1 m 떨어진 空間에 約 350 mR 의 照射線量率이 測定되었다.

3. 에너지가 10 MV 인 X線을 1 m 距離의 表面線量(標的에서) 30 Gy 를 照射한 후 光核反應에 의한 誘導放射線量率이 約 0.65 mR/hr 로 測定되었다.

4. 光核反應에 의한 誘導放射能의 崩壞는 半減期가 數分에서 數日에 이르고 에너지分布는 數拾 keV 에서 數百 keV 에 이르므로 多數의 物質이 放射化된 것으로 推測될 수 있으며 특히 標的, 平坦 濾過板 및 콜리메이터의 構成成分인 $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)$ ^{64}Cu , $^{186}\text{W}(\gamma, n)$ ^{185}W , $^{94}\text{Mo}(\gamma, n)$ ^{94}Mo , $^{182}\text{Ta}(\gamma, n)$ ^{182}Ta 등의 反應을 觀察할 수 있었다.

REFERENCES

- 1) Ernst, W. and Ovadia, J.: Contamination dose from incident neutrons associated with 22.5 MeV Xray from a betatron. *Radiology* **66**:105-106, 1956.
- 2) Lofgren, K. and Spring, E.: Neutron radiation produced by the 32 MeV roentgen beam of a medical betatron. *Acta Radiol.*, **9**:47-256, 1970.
- 3) McGinley, P.H., Wood, M., Mills, M. and Rodriguez, R.: Dose levels due to neutrons in the vicinity of high energy medical accelerators. *Med. Phys.*, **3**:397-402, 1976.
- 4) Deye, J.A. and Young, F.C.: Neutron production from 10 MeV medical linac. *Phys. Med. Biol.*, **22**:90-94, 1977.
- 5) Fox, J.G. and McAllister, J.D.: Fast neutron from a 25 MeV betatron. *Med. Phys.*, **4**:387-396, 1977.
- 6) Strandén, E.: Neutron doses to patients in high energy Xray therapy. *Phys. Med. Biol.*, **22**:1011-1013, 1977.
- 7) Price, K.W., Nath, R. and Holeman, G.R.: Fast and thermal neutron profiles for a 25 MeV Xray beam. *Med. Phys.*, **6**:285-289, 1978.
- 8) Lane, R.G., Paliwal, B.R. and Tolbert, D.D.: Leakage radiation characteristics of an 18 MeV clinical linear accelerator. *Health Phys.*, **35**:485-489, 1978.
- 9) Sohrabi, M. and Morgan, K.Z.: Neutron dosimetry in high energy Xray beams of medical accelerators: *Phys. Med. Biol.*, **24**:756-766, 1979.
- 10) Swanson, W.P.: Estimation of the risk in radiation therapy due to unwanted neutrons: *Med. Phys.*, 141-144, 1980.
- 11) Onai, Y., Tomaru, T. and Uchida, I.: Reconsideration on methods for calculation of shielding thickness for scattered radiation at the maze of a high energy Xray therapy room: *Nippon Acta Radiol.*, **25**:167-169, 1979.

Induced Activity and Space Dose Distribution from Medical Linear Accelerator

Sung Sil Chu, Ph.D. and Chang Yun Park, M.D.

Department of Radiology College of Medicine Yonsei University Seoul Korea

= Abstract =

It is important to measure and protect from the radiation space dose and induced activity at the high energy medical linear accelerator facilities.

These are to consider the additional risk to patients undergoing treatment, machine operators and staff members.

Measurements of the space dose distribution and induced radioactivity at the 18 MeV medical linear accelerator facility in the Yonsei Cancer Center.

1. Exposure space dose for 300 rads monitor doses of 18 MeV electron are measured as 50 mR at 1 meter from patients.

2. Exposure space dose for 300 rads monitor doses of 10 MV X-ray are detected as 350 mR at 1 meter from phantom.

3. Induced radioactivity by photonuclear reaction was measured as 0.65 mR/hr from collimator after 30 Gy (3,000 rads) irradiated.

4. Analyzing the decay curves and energy spectrum of induced radioactivity, detected a few materials to be activated by photoneutron reaction, $^{65}\text{Cu}(\gamma, n) \text{ } ^{64}\text{Cu}$, $^{186}\text{W}(\gamma, n) \text{ } ^{185}\text{W}$, $^{181}\text{Ta}(\gamma, n) \text{ } ^{180}\text{Ta}$, $^{199}\text{Au}(\gamma, n) \text{ } ^{198}\text{Au}$.