

<Note>

黃酸第一鐵과 黃酸암모니움第一鐵을 利用한 化學線量計의 特性

金 昌 均 · 許 俊

高麗大學校 醫學技術初級大學 放射線科
(1978年 4月 12日 接受)

I. 緒 論

放射線治療의 成功可否는 正確한 病巢의 位置測定과 適合한 線量의 照射에 依하여 左右된다. 그러므로 正確한 線量의 計算을 爲하여 가장 重要한 要素는 放射線源의 線量을 可能한 限 正確하게 測定되어야 한다. 또한 放射線量의 測定은 發生되는 線源의 硬軟과 線量의 大小에 따라서 使用할 수 있는 檢出方法 및 檢出器가 다르게 된다. 한例로서 放射線作業從事者들을 爲한 個人被曝線量은 微線量 내지는 小線量이지만 治療用 放射線의 境遇에는 大部分 大線量이 使用되기 때문에 一般의인 放射線測定手段이나 方法과는 다른 問題가 야기된다. 또한 大部分의 放射線測定器들은 그 測定範圍가 制限되어 있고 KRad 以上の 높은 線量測定이 使用可能한 것은 化學線量計로서 이 測定方法은 1927年 Fricke가 黃酸第一鐵(Fe⁺⁺)이 放射線을 吸收하던 黃酸第二鐵(Fe⁺⁺⁺)로 酸化되는 原理를 利用하여 放射線測定을 하는데 最初로 應用하였으며 一名 Fricke 線量計라고도 불리운다.¹⁾

이 化學線量計는 化學反應의 精密性(accuracy), 再現性(reproducibility) 그리고 直線性(linearity)이 가장 좋은 것으로 報告되고 있으며^{2,3)} Fricke 線量計는 黃酸第一鐵에 吸收된 放射線량과 酸化되는 量이 比例하며⁴⁾ 또 黃酸第一鐵로서 測定할 수 있는 上限線량도 約 30 KRad 내지 35KRad^{5,6)}인 것으로 알려져 있다. 이와 같은 化學線量計로서 黃酸第一鐵과 黃酸암모니움第一鐵 溶液의 特性에 對하여 研究한 結果를 報告하는 바이다.

II. 材料 및 方法

1) 線量計溶液의 製造

本實驗에서 使用된 化學線量計溶液의 製造는 ICPU

에서 勸告한 方法으로서 다음과 같다.⁷⁾

(가) 黃酸第一鐵溶液

| | |
|---|-------------------------------|
| Ferrous sulfate[FeSO ₄ ·7H ₂ O] | 1m-mole liter ⁻¹ |
| Sodium chloride[NaCl] | 1m-mole liter ⁻¹ |
| Sulfuric acid[H ₂ SO ₄] | 0.4m-mole liter ⁻¹ |

(나) 黃酸암모니움第一鐵溶液

| | |
|--|-------------------------------|
| Ferrous ammonium sulfate [Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ ·6H ₂ O] | 1m-mole liter ⁻¹ |
| Sodium chloride[NaCl] | 1m-mole liter ⁻¹ |
| Sulfuric acid[H ₂ SO ₄] | 0.4m-mole liter ⁻¹ |

위의 (가), (나) 溶液을 만들때 使用된 물은 alkaline 再蒸溜水이다.

2) 測定裝置의 材料

放射線源 : Co-60 4000Ci (Original activity)
分光光度計 : Hitachi Model-101
溶液容器 : Screw cap glass tube (Diameter = 1.4cm)⁸⁾

3) 測定方法

위의 screw cap glass tube에 化學的 不純物의 汚染可能性을 完全히 除去하기 爲하여 Dichromate cleaning solution에 screw cap tube를 4日間 담근뒤 꺼내어 수돗물로 씻어낸 다음 다시 세제로 씻어낸後 또다시 수돗물로서 씻어내고 最終段階에서 alkaline 再蒸溜水로 充分히 汚染을 除去시켜서 乾燥器로 水分을 乾燥시켰다. 이렇게 準備된 tube에 미리 製造된 線量計溶液을 5cc씩 넣어 Co-60 7線에 照射시킨後 照射된 溶液을 內徑 1cm의 quartz cell에 넣어 分光光度計로 光學密度(optical density: O. D.)를 測定하였다. 이때 使用된 紫外線波長은 224nm와 304nm이었고 可及의 誤差를 줄이기 爲하여 放射線照射後 即時 光學密度를 測定하여 다음 式⁹⁾에 依하여 吸收線量을 算出하였다.

$$D(\text{rad/hr}) = \frac{10^9}{ebY} (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}})$$

- A_{sample} : 放射線 照射後 光學密度
- A_{blank} : 放射線 照射前 光學密度
- e : 分子吸光係數
- Y : 黃酸第 1 鐵收率
- b : 試料두께 (cm)
- t : 照射時間 (hr)

위의 式을 利用하여 分子吸光係數(e)는 紫外線照射 波長이 224nm 일때에는 4565, 紫外線照射波長 304nm 일 境遇에서는 2196을 各各 使用하였고⁹⁾ Co-60의 黃酸第 1 鐵收率(Y)은 15.6을 利用하였다.^{3,11,12)}

III. 結果 및 考察

1) 線量計 溶液의 感度

黃酸第 1 鐵 溶液과 黃酸암모니움第 1 鐵 溶液에 같은 線量을 照射시켰을 때 나타나는 反應의 感度比較는 二 圖 1-A, 1-B 와 같다. 即 圖 1-A 는 照射紫外線波長으로서 224nm 를 使用했을때 各各 두 溶液의 感度를

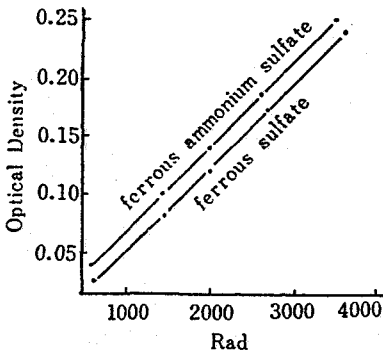


Fig 1-A. Difference of both solutions at the wavelength of 224nm.

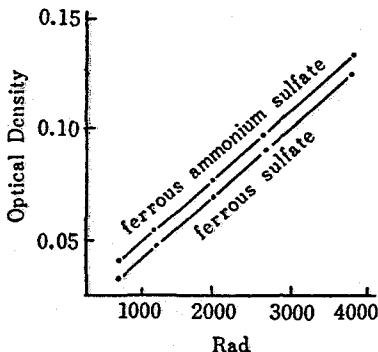


Fig. 1-B. Difference of both solutions at the wavelength of 304nm.

나타낸 것이고 그림 1-B는 紫外線의 照射波長을 304 nm 로 했을때 두 溶液의 感度를 比較한 것으로서 黃酸第 1 鐵과 黃酸암모니움第 1 鐵의 光學密度는 吸收線量에 따라 左右되기 때문에 照射紫外線의 波長이 어떤 境遇라 하더라도 化學線量計의 溶液으로서는 黃酸第 1 鐵보다 黃酸암모니움第 1 鐵이 感도가 더 높다는 것을 立證해 주고 있다.

2) 紫外線 照射波長의 選定

黃酸암모니움第 1 鐵 溶液을 放射線에 照射하고 난후 그 溶液의 光學密度를 224nm 와 304nm 의 紫外線으로 測定한 結果는 圖 2 와 같다. 그러므로 304nm 보다 는 224nm 의 波長으로 測定하면 機械的인 誤差를 減少 시킬수 있으나 容器의 오염으로 인하여 光學密度에 미치는 影響은 304nm 보다 더 크다고 알려져 있다.¹³⁾

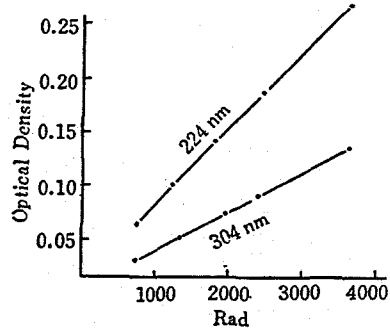


Fig. 2. Difference of both wavelength when ferrous ammonium sulfate solution was used.

3) 測定效率

測定效率이라 함은 Co-60 γ -線源의 製造會社에서 測定한 測定值에 대한 本實驗에서 使用된 Fricke 線量計 測定值의 比率을 나타낸다.

實驗에 使用된 黃酸第 1 鐵 溶液과 黃酸암모니움第 1 鐵 溶液의 測定效率을 圖 3-A, 圖 3-B 에 나타내었다. 圖 3-A 는 黃酸第 1 鐵 溶液에서 紫外線波長이 304nm 일때 1900rad 까지는 測定效率이 87%까지 增加되나 그 以上の 線量에서는 增加되지 않는다. 또 224 nm 일때는 1900rad 까지는 93%로 測定效率이 增加되나 이 以上の 線量增加에도 變化가 나타나지 않는다.

圖 3-B 는 黃酸암모니움第 1 鐵을 使用했을 때이고 紫外線波長이 304nm 일때 1600rad 까지 91%, 224nm 일때 1900rad 까지 97%로 測定效率을 各各 나타내나 그 以上の 線量增加에는 變化가 없다.

그러므로 黃酸암모니움第 1 鐵 溶液이 化學線量計로써 黃酸第 1 鐵보다 더 有用함을 나타낸다.

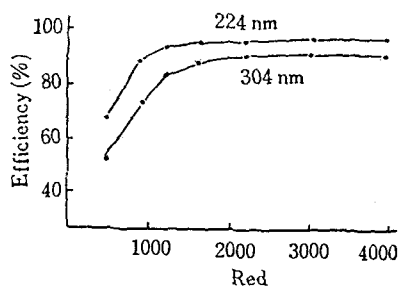


Fig. 3-A. Difference of both wavelength when ferrous sulfate solution was used.

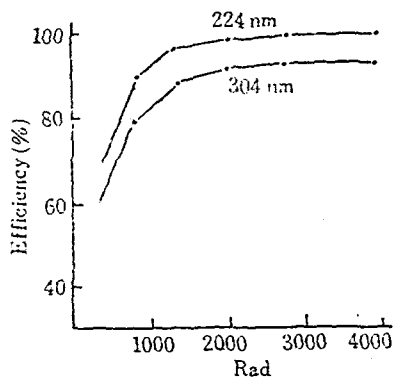


Fig. 3-B. Difference of both wavelength when ferrous ammonium sulfate solution was used.

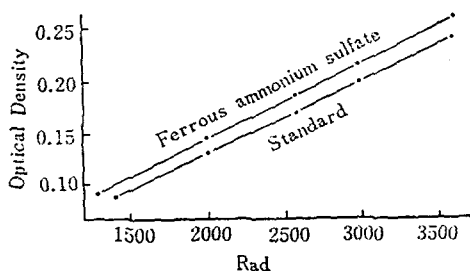


Fig. 4. Difference of both curves when Molar extinction coefficient of 4565 and ferrous sulfate of 15.6 were used.

4) 分子吸光係數

本實驗에서는 分子吸光係數를 ICRU¹⁰⁾에서 勸告한 값 卽 紫外線照射波長이 304nm 일때는 2196 ± 5 , 그리고 224nm 일때는 4565 ± 6 을 基準으로 使用하였고 黃酸第一鐵收率(Y)은 15.6을 擇하여 使用하였다. 그리고 化學線量計의 溶液으로서 黃酸암모니움第一鐵을 使用하고 紫外線照射波長 224nm 를 利用하여 算出된 吸收線

量과 Co-60源 製造會社에서 提示한 標準線量과의 關係는 그림 4와 같다. Weiss等¹⁰⁾은 分子吸光係數(e)를 23.7°C에서 2174를 使用하였고 溫度에 對한 補正을 1°C에 對하여 +0.7%를 加하였다.^{10,14,15)} 그림 4에 나타난 두 線量間의 差異는 單純한 分子吸光係數에 關한 影響뿐만 아니고 黃酸第一鐵收率의 값에도 그 原因이 나타난 것으로 思慮되는 바이다. 왜냐하면 Shalek等¹⁶⁾은 Co-60 γ 線에 對한 黃酸第一鐵收率을 15.9 ± 0.4 이라고도 報告하였다.

IV. 結 論

Co-60 γ 線을 利用하여 黃酸第一鐵과 黃酸암모니움 第一鐵溶液에 對한 特性을 實驗한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 化學線量計의 溶液으로서는 黃酸第一鐵보다 黃酸암모니움第一鐵이 더 感度가 좋았다.
2. 照射紫外線波長은 304nm 보다 224nm 를 使用하는 것이 分光光度計의 指示值 誤差를 減少시킬 수 있었다.
3. 化學線量計의 測定効率は 224nm를 照射紫外線波長으로 使用했을 境遇 黃酸第一鐵溶液은 1200rad 以上 일때 90% 以上이었고 黃酸암모니움第一鐵溶液으로는 900rad 以上の 線量에서는 90% 以上을 나타냈다.
4. 分光光度計의 quartz cell 1cm 로서는 化學線量計의 溶液이 黃酸第一鐵일 境遇 紫外線波長이 304nm 일 때는 約 500rad 以下 그리고 224nm 에서는 約 350rad 以下에서는 照射線量과 光學密度와의 關係가 比例하지 않았다.
5. 1cm 의 quartz cell 로서 線量計溶液이 黃酸암모니움第一鐵에서는 照射線波長 304nm 일때 約 400rad 以下 그리고 224nm 를 使用할 때에는 約 300rad 以下에서는 測定이 全然 不可能하였다.

References

1. Howard L. Andrews; Radiation Biophysics, 2nd ed., Prentice Hall INC., Englewood Cliffs, New Jersey, pp.228-229, 1974.
2. ICRU Report 10b.; Physical Aspects Irradiation, NBS Handbook 85, (U. S. Gov't Printing Office, Washington, D. C.) 1962b.
3. Fricke, H. and Hart, E. J.; "Chemical dosimetry, In Radiation Dosimetry" Vol.2, F.H.

- Attix and Roesch, W.C. Academic Press, New York, 1966, p.167.
4. Hurst G.S. and Turner; J.E. Elementary Radiation Physics, John Wiley and Sons, INC., New York, 1970, p.76.
 5. Heney, E.J. and E.R. Johnson; The Chemistry and Physics of High Energy Radiation, D.C., 1969.
 6. ICRU Report 14; "Radiation Dosimetry: X-Rays and Gamma-Rays with Maximum Photon Energies Between 0.6 and 50 MeV, 1959.
 7. Howard L. Andrews; Radiation Biophysics, 2nd ed., Prentice Hall INC., Englewood Cliffs, New Jersey, p.230, 1974.
 8. William J. Price; Nuclear Radiation Detection, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company, New York p.296, 1964.
 9. Weiss, J., Allen, A.O. and Schwarz; H. A. Proceeding of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Vol. 14, United Nations, New York, p.178, 1956.
 10. Scharf, K. and Lee, R.M.; Investigation of the spectrometric method of measuring the ferric ion yield in the ferrous sulfate dosimeter, Radiation Research 16, 155, 1962.
 11. Allen, A.O. Hogen, V.D. and Rothschild; W.G. Radiation Research 7, 603, 1959.
 12. Dobson, G., and G. Hughes; Trns, Faraday. Soc., 57, 1117, 1961.
 13. Pettersson, C. and Hettinger, G.; Dosimetry of high energy electron radiation based on the ferrous sulfate dosimeter, Acta Radiol. (Ther) 6, 160, 1967.
 14. Bastian, R., Weberling, R. and Palilla, F.; "Spectrophotometric determination of iron as ferric sulfate complex, an ultraviolet study" Anal. Chem. 25, 284, 1953.
 15. Liesem, H. und Pohlit, W.; Dosismessung an schnellen Elektronen nach der Eisensulfatmethode, Z. Physik Chem. N.F. 35, 352, 1962.
 16. Shalek, R.J., Sinclair, W.K. and Calkins, J.C. "The relative biological effectiveness of 22 Mev X-rays; The use of the ferrous sulfate dosimeter for X-ray and gamma-ray beams," Radiation Research 16, 344, 1962.