

## 琺瑯質, 象牙質 及 骨組織의 $\gamma$ -線 吸收率係數 測定에 關한 研究

서울대학교 大學院 齒醫學科 保存學 專攻  
(指導 金 英 海 教授)

梁 深 遠

### A STUDY ON THE MEASUREMENT OF $\gamma$ -RAY ABSORPTION COEFFICIENT OF ENAMEL, DENTIN AND BONE

SIM WON YANG, D. D. S., M. S. D.

*Dept. of Operative Dentistry, Graduate School of S. N. U.*

*(Directed by Prof. Yun9 Hai Kim, D. D. S., Ph. D.)*

.....> Abstract <.....

Low energized  $\gamma$ -ray is basically identical with X-ray known as electro-magnetic wave.

As  $\gamma$  radiation passes through matter it undergoes absorption by interacting with atoms of the absorbing material, principally by the photoelectric effect, the compton effect and by pair production.

To determine  $\gamma$ -ray absorption coefficient of tooth enamel, dentin and bone, the author made the experiment as follows.

Five mCi of  $^{241}\text{Am}$ (59.54KeV) was employed as source.

Layout of instruments and electronic chain is shown on Fig. 1 and Fig. 2.

Tooth and bone samples were prepared and polished in various thickness as shown on Table 2, 3 and 4.

True counts by means of detector were calculated appeared on the Table 2. 3. 4. and obtained the value of absorption coefficient as follows:

- 1) Enamel:  $1.056\text{cm}^{-1}$
- 2) Dentin:  $0.651\text{cm}^{-1}$
- 3) Bone(Cortical):  $0.591\text{cm}^{-1}$

\* 本 論文의 要旨는 1974年 11月 16日 第5回 大韓齒科保存學會에서 發表하였음.

— 目 次 —

- I. 緒 論
- II. 實驗材料 및 方法
- III. 實驗成績
- IV. 考 按
- V. 結 論
- 參考文獻

I. 緒 論

齒科臨床에서 X-線은 診斷과 治療目的으로 不可缺의 役割을 하고있다. 이 X-線은 本質的으로는 電磁波이며  $\gamma$ -線과 같은 것으로서<sup>1)2)3)4)</sup> 어떤 物質을 透過할때 其 物質의 密度, 構成成分, 厚徑 等에 依해서 線量 一部는 吸收되고 만다<sup>5)6)7)8)</sup>. 身體一部의 病變으로 因한 破壞로 空洞이 생긴 部位는 線吸收가 적어지고 또 어떤 部位의 病變에 依해서 病的組織이 생기거나 或은 石灰化過程이 일어나면 線吸收는 反對로 커진다. 따라서 透過된 X-線이 寫眞乾板의 銀粒子를 黑變하는데 差異가 나타나는 것은 周知의 事實이다. 齒牙硬組織의 構成成分인 琺瑯質과 象牙質이 物理的인 組成에 若干의 差異가 있으며<sup>10)</sup> 따라서 X-線 或은  $\gamma$ -線의 吸收係數도 相異하리라고 믿어지는 바이나 實際로 計測值가 發表된 것은 發見치 못했다. 理論的으로는 硬組織의 構成成分을 알고 있으면 其 吸收係數도 導出될수 있을 것이다.

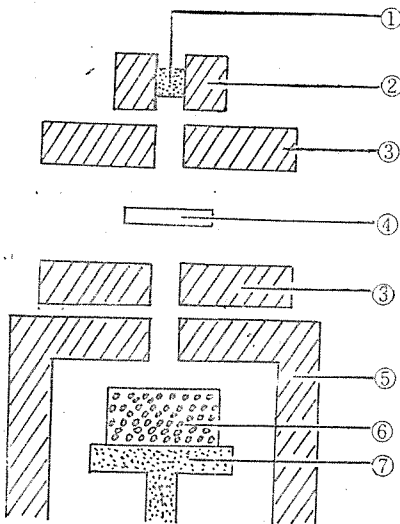


Fig. 1. 測定器의 配列

- ①  $^{241}\text{Am}(\gamma\text{-線源})$
- ② Lead coarse collimator
- ③ Lead collimator
- ④ Sample(試料)
- ⑤ Lead shield(10mm 厚徑)
- ⑥ Ge. (Li) Detector
- ⑦ Cold finger

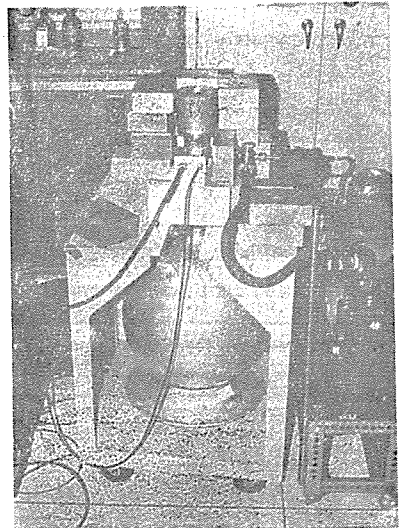
러나 其 各各의 組成成分의 配列關係가 一定치 않고 生物特有的의 配列을 이루고 있기 때문에 理論的인 計算値와는 一致되기 어려울 것으로 본다. 診斷을 爲한 X-線 寫眞에 있어서 被寫體의 吸收係數를 알면 其 半價層值도 쉽게 알수있고<sup>26)</sup> 따라서 X-線 에너지가 달라지는 境遇라도 明確한 X-線像을 얻을수 있다고 본다.

著者는 齒牙硬組織의 琺瑯質, 象牙質 及 緻密骨質에 있어서 吸收係數를 實驗的으로 測定하여 이에 報告하는 바이다.

II. 實驗材料 및 方法

1. 試片製作: 拔去된 永久齒에서 蝕蝕이나 形態學的 異常이 없는것을 골라서 舌唇側 方向으로 咬頭를 包含하여 齒科用 Disk를 食鹽水 注入下에 계속 縱斷하여 厚徑 約 1mm 內外로 하고 斷面은 Sand Paper #400, #600, #800 順序로 研磨하였다. 骨片은 牛의 脛骨에서 海綿骨을 除去하고 緻密骨을 厚徑 1mm 內外가 되도록 切斷 研磨하였다.

2. 實驗裝置:  $\gamma$ -線源으로는  $^{241}\text{Am}(59.54 \text{ KeV})$ 을 使用하고<sup>25)</sup> Lead collimator의 0.5mm 直徑의 細孔으로  $\gamma$ -線이 試片으로 射出되게 하고 이것은 試片을 通過하여 다시 Lead collimator에 平行으로 射入되게 한다. 射入된  $\gamma$ -線量은 高分解力  $\gamma$ -線分光器를 使用하였으며 計數裝置로서는 4096 Channel 波高分析器로 Spectrum을 記錄하고 또 한편 Scaler를 使用하여 Total counting을 取하도록 하였다.  $\gamma$ -線源 試片 及 測定器의 配列은 Fig. 1 과 같고 實驗裝置의 電子回路는 Fig. 2와 같다.



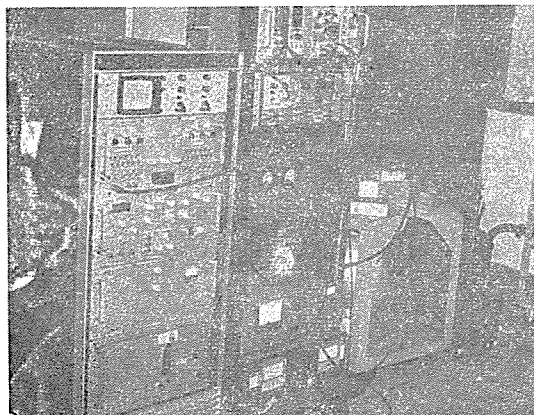
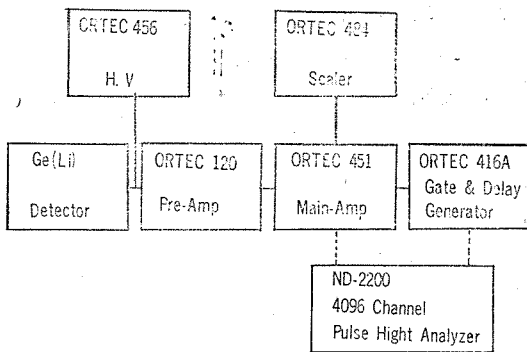


Fig. 2 實驗裝置의 電子回路

### III. 實驗成績

#### 1. 理論値의 導出

어떤 物質에 依한  $\gamma$ -線(또는 X-線)의 全吸收係數는 다음 式과 같이 定義할 수 있다<sup>16) 18)</sup>.

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$I_0$  :  $\gamma$ -線源의 強度

$I$  : 試料 透過後의  $\gamma$ -線 強度

$\mu$  : 吸收係數( $\text{cm}^{-1}$ )

$x$  : 試片物質의 厚徑(cm)

따라서 試料의 厚徑( $x$ )와  $I/I_0$ 비만 알수 있다면  $\mu$ 의 값은 容易하게 計算할 수 있다. 그런데 吸收率을 表示하는 方法은 3가지가 있다.

1)  $\mu$  :  $\text{cm}^{-1}$ (線型吸收係數)

2)  $\mu/\rho$  :  $\frac{\text{吸收係數}}{\text{密度}} = \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{g/cm}^3} = \text{cm}^2/\text{g}$ (質量吸收係數)

3)  $\mu = Na\sigma$

$Na$  : Unit volume當의 原子數

$\sigma$  : 原子當 吸收率(Total Cross Section)

齒質은 琺瑯質에서는 97%의 無機物中の 90% 以上の  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 나머지  $\text{CaPO}_4$  및  $\text{CaCO}_3$ 가 主成分이며 象牙質은 70% 緻密骨은 65%의 無機物로서 成分比는 琺瑯質과 큰 差異가 없다<sup>9-14)</sup>. 齒質과 骨質의 主構成成分인 Ca. P. O. H. 의  $\mu$ 의 값을 Siegbahn의 表에서 59.54KeV에 가까운 60KeV일때 보면 Table 1 과 같다<sup>27)</sup>.

Table 1. Ca. P. O. H. 의 吸收係數

元素(原子번호)	吸收係數 $\mu/\rho(\text{cm}^2/\text{g})$	$\mu_{\text{photo}} + \mu_{\text{comp}}$ ( $\text{cm}^2/\text{atom}$ )
Ca (20)	0.637	$42.4 \times 10^{-24}$
P (15)	0.311	$14.5 \times 10^{-24}$
O (8)	0.188	$5.00 \times 10^{-24}$
H (1)	0.326	$0.546 \times 10^{-24}$

前述한 바와 같이 齒牙는  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 가장 많으므로 그것만으로 構成되어 있다고 假定하고 그 構成元素별로  $\mu$ 를 計算하면 原子量은 各各 Ca : 40, P : 31, O : 16, H : 1 이므로 總分子量은 1004이다. 그 中 Ca만의 原子量은 400, P는 186, O는 416, H는 2이다. Enamel의 密度는  $2.9(\text{g}/\text{cm}^3)$ 이므로<sup>9)</sup>

$\frac{\mu}{\rho}$ 에서

$$\mu_{\text{Ca}} = 0.637 \times 2.9 \times \frac{400}{1004} \Rightarrow 0.7360$$

$$\mu_{\text{P}} = 0.311 \times 2.9 \times \frac{186}{1004} \Rightarrow 0.1670$$

$$\mu_{\text{O}} = 0.188 \times 2.9 \times \frac{416}{1004} \Rightarrow 0.2259$$

$$\mu_{\text{H}} = 0.326 \times 2.9 \times \frac{2}{1004} \Rightarrow 0.0019$$

이를 合算하면 Enamel의 吸收係數  $\mu$ 는  $1.1308(\text{cm}^{-1})$  이 된다.

Dentin도 마찬가지로 計算하면 密度가 2.2이므로<sup>11)</sup>

IV. 考 按

$$\mu_{Ca} = 0.637 \times 2.2 \times \frac{400}{1004} \approx 0.5583$$

$$\mu_P = 0.311 \times 2.2 \times \frac{186}{1004} \approx 0.1268$$

$$\mu_O = 0.188 \times 2.2 \times \frac{416}{1004} \approx 0.1714$$

$$\mu_H = 0.326 \times 2.2 \times \frac{2}{1004} \approx 0.0014$$

이를 합산하면  $0.8579(\text{cm}^{-1})$ 이 된다.

2. 實驗值

Table 2. Enamel의 測定值

Sample	Thickness (cm)	True counts (counts/min)	$\mu(\text{cm}^{-1})$
No. Sample		4674	
1	0.220	3654	1.123
2	0.234	3686	1.015
3	0.219	3659	1.118
4	0.199	3816	1.019
5	0.241	3667	1.007

Mean  $1.056(\text{cm}^{-1})$

Table 3. Dentin의 測定值

Sample	Thickness (cm)	True counts (counts/min)	$\mu(\text{cm}^{-1})$
No. Sample		4553	
1	0.283	3753	0.682
2	0.303	3760	0.631
3	0.354	3706	0.659
4	0.320	3670	0.673
5	0.301	3788	0.611

Mean  $0.651(\text{cm}^{-1})$

Table 4. Bone(Cortical)의 測定值

Sample	Thickness (cm)	True counts (counts/min)	$\mu(\text{cm}^{-1})$
No. Sample		4547	
1	0.347	3702	0.592
2	0.227	4025	0.537
3	0.358	3655	0.610
4	0.337	3740	0.580
5	0.343	3654	0.637

Mean  $0.591(\text{cm}^{-1})$

註) Back ground는 計數時에 880counts/min을 實測하여 除外하였다.

齒牙의 珐瑯質, 象牙質이나 骨組織은 物理的인 硬度나 密度 或은 化學的 構成成分이 各各 相異하고<sup>9-14)</sup> 臨床에서 X-線像을 보아도 明暗度를 달리하기 때문에 容易하게 推測할 수 있다. 電磁波에 屬하는 X-線은 이런 物體를 透過할때 一部는 其 物質에서 吸收되고 殘餘가 射出되어 寫眞乾板上的 銀粒자를 黑化하게 되므로 其 黑化도가 달라지게 된다. 이 吸收係數는 모든 元素와 物質에서 究明되고 있다. 어떤 試料物質에 對한 X-線,  $\gamma$ -線의 吸收係數의 測定은 原理는 簡單하나 이런 放射線과 物質과의 相互作用形態의 複雜性, 周圍物質로 부터의 散亂 及 自然放射能의 存在等으로 正確한 數值를 決定하기는 甚 어려운 問題이다. 흔히 使用되는  $\gamma$ -線에 對한 吸收係數 測定法은 가능케 集束된 平行  $\gamma$ -線을 試料物質에 吸收시켜 其 試料物質에서의 光電効果(Photoelectric effect)<sup>15) 23) 28)</sup>, Compton 散亂(Scattering)<sup>17) 19) 29)</sup> 及 電子雙創生(Pair production)<sup>20) 21)</sup> 等으로  $\gamma$ -線이 그 入射進路를 달리한 것은 計數에서 除外되도록 하였다. 醫療用 X-線은 低에너지의  $\gamma$ -線이기 때문에 이에 비슷한 5mCi 強度의 <sup>241</sup>Am(59.54KeV)를 使用하였고 이것은 1.02 MeV 以上에서만 惹起되는 電子雙創生에는 關聯치 못한다. 따라서 吸收係數  $\mu$ 는 光電効果와 Compton 効果의 값을 합친것으로 表示할 수 있다.

$$\mu = \mu_{\text{photo}} + \mu_{\text{compton}} \dots \dots \dots (1)$$

試料物質의 化學的組成은  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 主成分이고 Ca.P.O.H.의  $\mu$ 의 값은 앞의 Table 1과 같다. 表에서 보는 바와 같이 光電効果와 Compton 効果는 各各 原子 하나當의 斷面積으로 다음 式으로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \mu_{\text{photo}} &= \text{Na} \cdot \sigma_{\text{photo}} \\ \mu_{\text{comp}} &= \text{Na} \cdot \sigma_{\text{comp}} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

Na는 單位體積內的 對象原子의 總數를 나타내며 換 算된  $\mu/\rho$ 는 吸收係數  $\mu$ 를 密度  $\rho$ 로 나누어 준것으로서 質量吸收係數라 하며 單位는  $\text{cm}^2/\text{g}$ 가 된다. 前述한 바와 같이 <sup>241</sup>Am에서의  $\gamma$ -線 에너지는 59.54 KeV의 X-線과 거의 같은 領域의 低에너지의  $\gamma$ -線이기 때문에 光電効果만이 決定的인 係數值가 되며 <sup>241</sup>Am의  $\gamma$ -線과 硬組織 主 構成成分인 磷酸 칼슘과의 相互作用 分析에서는 Compton 効果는 除外하여도 其 近似值 決定에는 큰 誤差가 될수 없다고 본다<sup>22)</sup>. 理論值 導出에서는 珐瑯質에서  $\mu \approx 1.131(\text{cm}^{-1})$ 이었고 象牙質에서는  $\mu = 0.858(\text{cm}^{-1})$ 이었으며 測定實驗에서 얻은 吸收係數는 珐瑯質

$\mu = 1.056(\text{cm}^{-1})$ , 象牙質  $\mu = 0.651(\text{cm}^{-1})$ , 緻密骨에서는  $\mu = 0.591(\text{cm}^{-1})$ 이었다. 理論値와 實驗値가 다른것은 齒牙硬組織內的 有機物의 存在, 磷酸칼슘의 配列狀態가 均等하게 되어 있지않고 密集된 部位와 疎遠한 部位가 交代로 層을 이루고 또한 이 配列狀態가 一定方向이 아니기 때문이다<sup>12-14)</sup>. 參考的으로 齒牙의 構成成分 또는 齒科에서 자주 使用되는 金屬, 日常生活에서 볼수 있는 金屬들의 密度와 吸收係數를 表示하면 Table 5와 같다.

Table 5. 各元素別 密度 및 吸收係數

元素(番號)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	質量吸收係數 $\mu/\rho(\text{cm}^2/\text{g})$	吸收係數 (cm <sup>-1</sup> )
P (15)	2.20	0.311	0.684
Ca (20)	1.55	0.637	0.987
Fe (26)	7.88	1.18	9.30
Cu (29)	8.95	1.56	14.0
Ag (47)	10.5	5.12	53.8
Sn (50)	7.31	6.49	47.4
Pt (78)	21.4	3.08	65.9
Au (79)	19.3	3.27	63.2
Pb (82)	11.34	3.55	40.3

60KeV, 密度는 常溫<sup>24)</sup>

## V. 結 論

齒牙 硬組織의 珐瑯質, 象牙質 及 骨組織의 緻密骨에서 X-線에 對한 吸收係數를 測定키 爲하여 X-線과 비슷한 領域의  $\gamma$ -線을 放出하는 <sup>241</sup>Am을 에너지 源으로 하여 實驗한 成績은 다음과 같다.

1. 齒牙珐瑯質에서의 吸收係數는  $1.056\text{cm}^{-1}$
2. 象牙質에서의 값은  $0.651\text{cm}^{-1}$
3. 緻密骨質에서의 값은  $0.591\text{cm}^{-1}$ 이었다.

(本 論文을 完成함에 있어 指導校閱하여 주신 金洙哲, 金英海 教授님께 深甚한 感謝를 드리며 協助하여 주신 原子力研究所 中性子物理室 鄭汶奎 室長님과 保存學敎室員 여러분께 謝意를 表하는 바입니다.)

## References

- 1) Ennis, L. M. and Berry, H. M. : Dental Roentgenology, Lea & Febiger, 5ed. p.16. 1959.
- 2) Ingram, F. L. : Radiology of the Teeth and Jaws. William & Wilkins. p.3 1965.
- 3) Wuehrmann, A.H. and Manson-Hing, L. R. : Dental Radiology. Mosby. p.1. 1965.
- 4) Maynard, C. D. : Clinical Nuclear Medicine. Lea & Febiger. p.4. 1969.
- 5) Chase, G. D. : Principles of Radioscope Methodology. Office of Atomic Energy. p.142. 1959
- 6) Enge, H. : Introductory to Nuclear Physics. Addison-Wesley. p.191. 1966.
- 7) 野中到 等 : 核實驗裝置 I. 共立出版株式會社 p.28.
- 8) 鄭汶奎 : 原子核物理, 한국원자력연구소, p.28.
- 9) Orban's Oral Histology and Embryology. Mosby. p.38. 1972.
- 10) Scott and Symons: Introduction to Dental Anatomy. 6ed. p.181. 1971.
- 11) Jenkins, G. N. : The Physiology of the Mouth. Blackwell Scientific Pub. 3ed. p.52 1966.
- 12) Bloom and Fawcett: A Textbook of Histology. 9ed. p.228. 1970.
- 13) Kraus, B. S. : Dental Anatomy and Occlusion. William & Wilkins. p.133. 1969.
- 14) Provenza, D. V. : Oral Histology. J. B. Lippincott. Co. p.194. 1964.
- 15) Halliday, D. : Introductory Nuclear Physics. John Wiley & Sons Inc. p.167 1955.
- 16) Kaplan, I. : Nuclear Physics. Addison Wesley Pub. Co. 2ed. p.395. 1963.
- 17) Semat, H. : Fundamentals of Physics. Rinehart & Company Inc. 3ed. p.812. 1957.
- 18) Wehr and Richard: Introductory Atomic Physics. Addison-Wesley Pub. Co. p.171. 1962.
- 19) Blackwood, O. H. et al. : Atomic Physics. John Wiley & Sons Inc. 2ed p.125. 1937.
- 20) Richards, J. A. et al. : Modern University Physics. Addison-Wesley Pub. Co. p.820 1960.
- 21) Siegbahn, K. : Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy. North Holland Pub. Co. p.41. 1955.
- 22) Chung, M. K. et al. : A Semi-empirical Efficiency Curve for a Thin Ge(Li) detector at low energies. J. of Nuclear Science V.10. No.1. Part 1. p. 7. 1970.
- 23) Hogerton, J. F. : The Atomic Energy Deskbook Reinhold Pub. Co. p.391. 1963.
- 24) 飯田修一 等 : 物理定數表, 朝倉書店 p.71. 1966.

25) Lederer, C.M.: Table of Isotopes. John Wiley & Sons Inc. 6ed. p. 146. 1968.  
 26) Chase, G.D.: Principles of Radioscope Methodology. Office of Atomic Energy. p.143. 1959.  
 27) Siegbahn, K.: Beta-and Gamma-Ray Spectroscopy North Holland Pub. Co. p.859~870.

1955.  
 28) Blackwood, O.H. et al: Atomic Physics. John Wiley & Sons Inc. 2ed. p. 65. 1937.  
 29) Kaplan, I.: Nuclear Physics. Addison-Wesley Pub. Co. 2ed. p.405. 1963.

各種 齒科機器 및 材料 = 賣買 · 修理 · 配達

# 瑞 一 齒 材 商 社

朴 陽 淳

서울特別市 中區 南大門路 5街 6의 24

電話 (22) 7 2 7 5

☞ 各種 齒科機器 및 材料 ※賣買 ※修理 ※配達

(청량리역전앞)

# 清 涼 齒 科 材 料 商 社

梁 海 秀

서울특별시 동대문구 청량리동 258

전화 (96) 1 1 1 0

☞ 賣 買 · ☞ 修 理 · ☞ 配 達

# 해 성 치 과 재 료 상 사

대 표 정 능 안

서울특별시 종로구 종로 3가 53

전화(73) 9 5 2 8