

# 파노라마방사선촬영기종에 따른 흡수선량 차이

서울대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실 및 치학연구소  
최 순 철

## Difference in Radiation Absorbed Dose According to the Panoramic Radiographic Machines

Soon-Chul Choi

Department of Oral and Maxillofacial Radiology & Dental Research Institute, College of Dentistry, Seoul National University

### ABSTRACT

**Purpose** : The primary objective of this study was to estimate the radiation absorbed doses in certain critical organs in the head and neck region with an Orthopos plus, a Panelipse, and a Panex-E machines. The second objective was to compare the absorbed doses between 5 inch by 12 inch and 6 inch by 12 inch image field for the Orthopos plus.

**Materials and Methods** : Rando phantom and LiF TLD chips were used for dosimetry. The absorbed doses were measured at the thyroid gland, the submandibular gland, the parotid gland, the mouth floor, the maxillary sinus, the brain, the mandibular body, the mandibular ramus, the 2nd cervical spine and the skin over TMJ area.

**Results** : The highest absorbed dose value was recorded at the mandibular ramus for the Orthopos plus with narrow image field. Higher absorbed dose values were recorded at the parotid gland, the mouth floor, the submandibular gland, and the 2nd cervical spine. The doses in the parotid gland were 597  $\mu$ Gy and 529  $\mu$ Gy with Orthopos plus, 638  $\mu$ Gy with Panelipse, and 1094  $\mu$ Gy with Panex-E. Corresponding figures for the mandibular ramus were 2363 Gy and 1220  $\mu$ Gy, 248  $\mu$ Gy, and 118  $\mu$ Gy. The absorbed doses to the thyroid gland, the maxillary sinus, the brain, and the skin over TMJ were very low.

**Conclusion** : Higher exposure values were recorded for the Orthopos plus than Panelipse and Panex-E. There was no significant differences of the absorbed doses according to the image field size. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2000 ; 30 : 11-15)

**KEY WORDS** : absorbed dose, dosimetry, TLD, panoramic radiography

## 서 론

진단 목적에 적합한 방사선촬영법을 선택할 경우 고려해야 할 사항으로는 여러 가지를 들 수 있으나 대표적인 것으로 개개 촬영법의 진단능과 촬영시 환자에게 흡수되는 흡수선량을 들 수 있다. 아무리 진단능이 우수하더라도 흡수선량이 과도하다면 촬영법으로 선택하기가 어려워진다. 파노라마방사선사진촬영기의 기본적인 원리는 촬영기종에 따라 큰 차이가 없으나 회전축의 수와 이동 경로, 상

층(focal trough)의 형태는 물론 사용되는 필름의 크기는 다양하다. 파노라마방사선사진촬영시 환자에 대한 흡수선량은 다른 유사한 촬영법, 특히 전악구내방사선사진 촬영시보다 매우 적은 것으로 알려져 있으나<sup>1,2</sup> 파노라마방사선 사진촬영기종에 따라 환자에게 흡수되는 방사선의 양은 부위별로 큰 차이가 있을 수 있다.

Paatero,<sup>3</sup> Kuba와 Beck,<sup>4</sup> Casebow,<sup>5</sup> Nyström 등<sup>6</sup>은 파노라마방사선사진 촬영시의 노출 분포의 일반적인 패턴을 연구하였으며 많은 학자들이<sup>7-17</sup> 여러 가지 기관이나 조직에 대한 노출량이나 흡수선량에 대해 연구하였다. 특히 Myers 등<sup>18</sup>과 Bankvall 등<sup>19</sup>은 어린이를 대상으로 연구하였으며 Whitcher 등<sup>20</sup>은 파노라마방사선사진 촬영용 납방어복을 고안하여 그 효과에 대해 연구하였다. 파노라마방사선사진 촬영기종간의 차이를 연구한 경우에는 Nelson과 Rupp<sup>21</sup>이 같은 기종의 촬영기 3대를 이용하여 비교한 바 있으며

접수일 : 1999년 12월 3일      채택일 : 1999년 12월 16일  
이 논문은 1997년도 서울대학교병원 지정연구비지원에 의해 이루어진 것임.  
Correspondence to : Soon-Chul Choi  
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, College of Dentistry, Seoul National University 28, Yeongun-Dong, Chongno-Ku Seoul, 110-749, KOREA  
Tel) 02-760-3498, Fax) 02-744-3919  
E-mail) raychoi@snu.ac.kr

Altonen 등,<sup>22</sup> Manson-Hing과 Greer,<sup>23</sup> Wall 등,<sup>24</sup> Stenström 등,<sup>25</sup> Gibbs 등,<sup>26</sup> Underhill 등<sup>27</sup>은 여러 가지 종류의 촬영기를 이용하여 노출량이나 흡수선량을 비교 연구하였다.

그러나 국내에서는 김 등<sup>28</sup>이 Panelipse 기종을 이용하여 두정부 여러 부위의 흡수선량을 연구한 외에는 파노라마 방사선사진 촬영시의 흡수선량에 대한 연구를 찾아 보기 어려운 실정이며 또한 비교적 최근에 소개된 파노라마 방사선사진촬영기종인 Orthopos plus에 대한 연구도 국내외적으로 매우 드문 실정이다. 이에 저자는 두부 모형을 이용하여 Orthopos plus 기종과 Panelipse와 Panex-E 기종으로 촬영시 두정부 여러 부위, 특히 방사선에 의한 위해 효과가 크다고 알려진 부위에 흡수되는 선량을 비교하고 사용되는 필름의 크기에 따른 차이가 있는지를 알아 보고자 하였다.

## 연구 및 방법

### 1. 방사선사진 촬영

사람의 견조두개골에 인체 연조직의 방사선감쇠 정도와 유사한 방사선감쇠계수를 갖는 isocyanate rubber를 입혀 만든 2.5 cm 두께의 10개의 절단면으로 구성된 선량측정용 phantom인 Rando phantom (Humanoid System Co., USA)을 이용하였다.

방사선 노출은 3가지 종류의 파노라마방사선사진촬영기를 이용하여 일상적인 노출 조건으로 시행하였다. Orthopos plus 촬영기(Siemens, Germany)로는 관전압 73 kVp, 관전류 15 mA, 노출시간 14.1초의 촬영 조건에서 필름 크기가 5인치×12인치와 6인치×12인치에 맞추어진 slit collimator를 사용하여 각각 촬영하였으며 이 때 5인치×12인치 필름을 사용한 경우를 Orthopos I, 6인치×12인치 필름을 사용한 경우를 Orthopos II라고 하였다. Panelipse 촬영기(G.E., USA)로는 관전압 75 kVp, 관전류 8 mA, 노출시간 20초의 촬영 조건으로, Panex-E 촬영기(Morita, Japan)로는 관전압 90 kVp, 관전류 10 mA, 노출시간 15초의 촬영 조건으로 필름 크기는 5인치×12인치 상태에서 각각 촬영하였다. 촬영은 모두 10회씩 시행하였으며 같은 과정을 3회 반복하였다.

### 2. 흡수선량 측정

열형광선량계로는 가로 1/8인치, 세로 1/8인치, 두께 0.035인치의 LiF TLD-100 chip (Harshaw Co., USA)을 사용하였으며 3개씩 chip container에 넣어 각각의 방사선사진 촬영전에 Rando phantom의 갑상선부위, 우측 악하선 부위, 우측 이하선부위, 구강저, 우측 상악동, 뇌부위, 우측 하악체 골수부위, 우측 하악지 골수 부위, 제2경추 골수 부위에 위치시켰으며 우측 측두하악관절 피부부위에도 하나의 chip

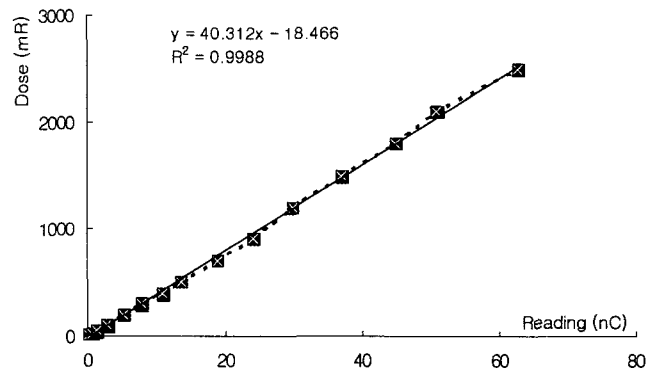


Fig. 1. Calibration curve.

container를 부착시켰다.

모든 TLD chip은 결정내에 남아 있을 수 있는 에너지를 모두 방출시키기 위해 실험전에 400°C에서 1시간 소성(annealing)한 후 실온에서 식힌 다음 다시 100°C에서 2시간 소성하였다.

방사선 노출후 각각의 chip을 TLD reader (Harshaw Co., USA)로 측정후 측정된 전하량(nC)을 calibration curve를 이용하여 mR 단위의 노출량으로 변환시켰다. 이때 매 소성후 같은 조건에서 따로 보관한 3개의 TLD chip으로 배경방사선의 양을 구한 후 개개 측정치에서 빼 주었다. calibration curve는 이미 알고 있는 양의 방사선에 노출시킨 TLD chip의 전하량을 측정후 노출된 방사선의 양과 측정된 전하량을 상호 연관시켜 얻었다(Fig. 1). 이렇게 얻어진 값은 노출량이므로 이를 흡수선량으로 환산하기 위하여, 즉 mR을  $\mu$ Gy로 환산하기 위하여 correction factor 9.05를 곱하였다.<sup>29</sup>

## 연구 결과

갑상선 흡수선량은 21-51  $\mu$ Gy로 Panex-E에서 51  $\mu$ Gy로 가장 컸으며 Panelipse에서 21  $\mu$ Gy로 가장 작았다. 악하선 흡수선량은 Panelipse와 Panex-E에서 각각 162  $\mu$ Gy와 157  $\mu$ Gy, Orthopos I, II에서 각각 327  $\mu$ Gy와 358  $\mu$ Gy로 Orthopos 기종에서 컸다. 이하선 흡수선량은 Panex-E에서 1094  $\mu$ Gy로 가장 컸으며 나머지 3가지 기종에서는 529  $\mu$ Gy-638  $\mu$ Gy였고 구강저에서의 흡수선량은 Panelipse와 Panex-E에서 각각 204  $\mu$ Gy, 176  $\mu$ Gy, Orthopos I, II에서 각각 597  $\mu$ Gy, 529  $\mu$ Gy로 Orthopos 기종에서 컸다. 상악동과 뇌 중심부 흡수선량은 각각 26  $\mu$ Gy-64  $\mu$ Gy, 0  $\mu$ Gy-10  $\mu$ Gy로 매우 작았다. 골수의 흡수선량은 하악체 부위에서는 53  $\mu$ Gy-111  $\mu$ Gy로 크지 않았으며 제2경추 부위에서는 250  $\mu$ Gy-280  $\mu$ Gy로 각 기종간 차이가 거의 없었다. 그러나 하악지 부위에서는 Panelipse와 Panex-E에서 각각 248  $\mu$ Gy, 118

**Table 1.** Absorbed doses to critical organs (micrograys)

Location	Orthopos I*	Orthopos II**	Panelipse	Panex-E
Thyroid gland	29	32	21	51
Submandibular gland	327	358	162	157
Parotid gland	597	529	638	1094
Mouth floor	452	555	204	176
Maxillary sinus	64	85	27	26
Brain	9	10	3	-
Bone marrow (mandibular body)	109	111	53	55
Bone marrow (mandibular ramus)	2363	1220	248	118
Bone marrow (2nd cervical spine)	280	255	270	250
Skin (TMJ area)	29	46	3	6

\* : film size - 5 inch by 12 inch  
 \*\* : film size - 6 inch by 12 inch  
 - : undetected

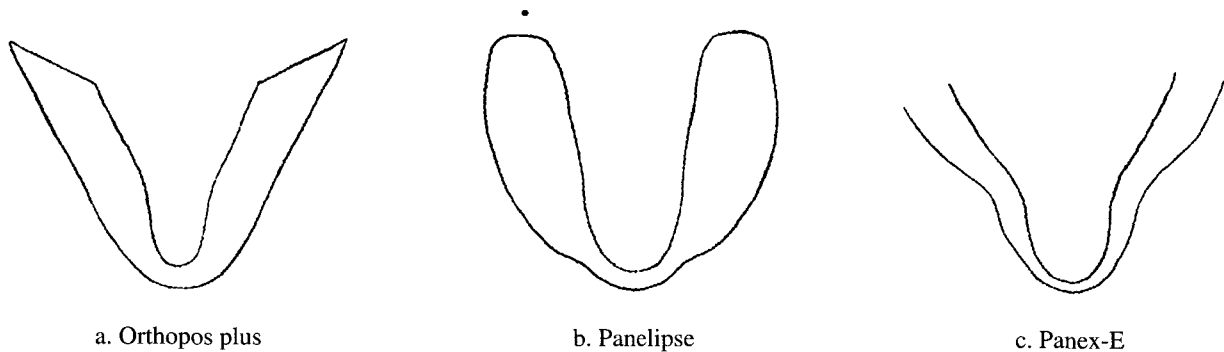
μGy, Orthopos I, II에서 각각 2363 μGy, 1220 μGy로 매우 큰 차이를 보였다. 측두하악관절 부위 피부에서의 흡수선량은 3 μGy-46 μGy로 크지 않았다 (Table 1).

**총괄 및 고안**

파노라마방사선사진 촬영시의 흡수선량은 근본적으로 촬영기종간에 디자인이 다르기 때문에 매우 다양하다. 즉 촬영기의 회전축의 수와 회전축의 이동 경로, 상충(focal trough)의 형태는 물론 사용되는 필름의 크기에 따라 차이가 날 수 있다. 그러나 Nelson과 Rupp<sup>21</sup>에 의하면 같은 Panorex 기종 3대를 사용하여 선량 분포 양상을 조사했을 경우에도 다양한 차이가 있었다고 보고하고 있으며 그 이유는 방출되는 X선속 스펙트럼의 차이 때문이 아니라 tube alignment의 불일치에 의한 것으로 추정하였다. 이번 연구에서 사용된 3가지 기종은 모두 회전축이 고정되지 않고 연속적으로 이동하도록 만들어진 기종이며 각 기종의 상충의 형태는 Fig. 2와 같다.

연구 결과를 보면 예상했던 대로 비교적 회전축이 집중된 곳으로 알려진 이하선과 하악지에서 흡수선량이 가장 많았으며 또한 촬영기종간 차이도 매우 심하였다. 즉 이하선의 경우는 Panex-E 기종에서 1094 μGy로 600 μGy 내외를 나타낸 타기종보다 월등히 컸으며 하악지의 경우는 Orthopos plus 기종에서 2363 μGy와 1220 μGy로 248 μGy를 나타낸 Panelipse 기종과 118 μGy를 나타낸 Panex-E 기종보다 월등히 크게 나타나 Panex-E 기종에서는 회전축이 이하선 부위에 집중되어 있으며 Orthopos plus 기종에서는 하악지 부위에 집중되어 있음을 알 수 있다. Panelipse 기종에서는 두 부위에서 638 μGy와 248 μGy로 비교적 흡수선량이 작게 나타났으나 회전축은 Panex-E 기종처럼 이하선 부위에 집중되어 있거나 다른 부위에 집중되어 있을 가능성이 높았다. 일반적으로 이동 회전축 기종이 고정 회전축 기종에 비해 최대 노출의 집중 정도가 떨어지는 것으로 알려져 있으나<sup>25</sup> 이번 연구 결과를 보면 이동 회전축 기종일지라도 고정 회전축 기종의 회전축 부위에 해당되는 이하선이나 하악지에서의 흡수선량이 가장 높았다. 얻어진 결과를 다른 연구 결과와 비교해 보면 이하선 흡수선량은 Panorex 기종을 이용한 Kuba와 Beck<sup>9</sup>은 3540 μGy였다고 하였고 같은 Panorex 기종을 이용한 Weissman과 Longhurst<sup>10</sup>는 2320 μGy에서 2380 μGy였다고 하였으며 Stenström 등<sup>16,25</sup>은 Orthopantomograph (OP) 5기종에서는 300 μGy에서 970 μGy였으나 OP 10기종에서는 300 μGy였다고 하였다. 이번 연구에서 사용된 기종과 같은 기종을 이용한 Wall 등<sup>24</sup>은 Panelipse 기종에서 560 μGy, Panex-E 기종에서 450 μGy였다고 하였으며 Underhill 등<sup>27</sup>은 Panelipse II 기종에서 1188 μGy였다고 하였다. 하악지 흡수선량은 여러 기종을 대상으로 연구한 Unerhill 등<sup>27</sup>에 의하면 Panoura 기종에서 171 μGy, Panorax 기종에서 80 μGy, Oralix 기종에서 154 μGy, Panelipse II 기종에서 181 μGy, OP 5기종에서 758 μGy였다고 하여 많은 차이가 있음을 알 수 있다.

이와 같이 이하선이나 하악지에 대한 흡수선량은 촬영기종간 차이가 많아 비교하기가 어려운데 이는 그 부위에



**Fig. 2.** Shape of the focal trough.

서의 선량 경사(dose gradient)가 급하기 때문이다.<sup>16</sup> OP 기종으로 노출 분포를 연구한 Nyström 등<sup>6</sup>에 따르면 노출량이 가장 많은 부위로 부터 전방으로 5 mm 떨어진 부위에서의 노출이 최대 노출의 20% 이하였다고 한 바 있다. 또한 크기가 큰 타액선 내에서의 선량계의 위치가 다양하며 타액선이 일차선의 범주 경계에 근접해 있기 때문에 타액선 선량은 큰 차이를 보인다.<sup>15</sup>

이밖에 수백  $\mu\text{Gy}$ 의 흡수선량을 나타낸 부위는 악하선, 구강저, 제 2경추였다. 촬영기간을 비교해 보면 악하선 부위에서는 Orthopos plus 기종이 Panelipse와 Panex-E 기종보다 약 2배 가량 컸으며 구강저 부위에서도 2배 내지 3배 가량 컸다. Orthopos plus 기종에서 구강저 흡수선량이 타 기종에 비해 크게 나타난 것은 Orthopos plus 기종이 경추에 의한 X선 감쇠를 보상하기 위해 그 부위에서 노출을 증가시켰기 때문으로 생각된다. 그러나 제 2경추에서는 모든 기종에서 250  $\mu\text{Gy}$ 에서 280  $\mu\text{Gy}$ 로 큰 차이를 보이지 않았다. 악하선의 흡수선량은 Panorex 기종을 대상으로 한 연구에서 Kuba와 Beck<sup>9</sup>은 2200  $\mu\text{Gy}$ , Weissman과 Longhurst<sup>10</sup>는 429  $\mu\text{Gy}$ 에서 469  $\mu\text{Gy}$ , Manson-Hing과 Greer<sup>23</sup>는 3430  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 매우 큰 차이를 보였다. OP 기종을 대상으로 한 연구에서 Stenström 등<sup>16,25</sup>은 OP 5기종에서 90  $\mu\text{Gy}$ 에서 300  $\mu\text{Gy}$ , OP 10기종에서 200  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 이번 연구 결과와 유사하였으나 Underhill 등<sup>27</sup>은 OP 5기종에서 760  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. Panelipse 기종을 대상으로 한 연구에서 Manson-Hing과 Greer<sup>23</sup>는 3650  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 이번 연구 결과보다 20배 이상의 차이를 보였으며 Panelipse II 기종을 대상으로 한 연구에서 Underhill 등<sup>27</sup>은 217  $\mu\text{Gy}$ , 김 등<sup>28</sup>은 608  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 약 3배 정도의 차이를 보였다. Panorex 기종을 이용한 Weissman과 Longhurst<sup>10</sup>는 경추에서의 흡수선량이 34  $\mu\text{Gy}$ 에서 54  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 이번 연구 결과의 1/5 내지 1/6에 불과했는데 이는 Panorex 기종은 회전축이 좌우 2개 뿐이기 때문에 일차선이 경추에 조사되는 시간이 짧았기 때문으로 생각된다. 그러나 회전축이 3개이거나 계속 이동하도록 제작된 5가지 기종을 대상으로 연구한 Underhill 등<sup>27</sup>에 따르면 제 2경추에서의 흡수선량이 133  $\mu\text{Gy}$ 에서 270  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 이번 연구 결과와 크게 다르지 않았다.

갑상선에 대한 흡수선량은 4가지 기종에서 21  $\mu\text{Gy}$ 에서 51  $\mu\text{Gy}$ 까지로 크지 않았다. Kuba와 Beck<sup>9</sup>은 Panorex 기종에서 370  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였으며 Manson-Hing과 Greer<sup>23</sup>는 Panorex 기종에서 130  $\mu\text{Gy}$ , OP 기종에서 80  $\mu\text{Gy}$ , Panelipse 기종에서 50  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. Wall 등<sup>24</sup>은 7가지 기종을 대상으로 연구한 결과 5가지 기종에서는 10  $\mu\text{Gy}$ 에서 50  $\mu\text{Gy}$ 로 큰 차이가 없었으나 회전축이 하나인 Rotograph 기종과 Panography 기종에서 각각 100  $\mu\text{Gy}$ 와 300  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. Lochter<sup>30</sup>은 OP 3기종에서 130  $\mu\text{Gy}$ , Bankvall 등<sup>19</sup>은 OP 3기종에서 30  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였으며 OP 5와 Panelipse 기

종으로 연구한 Stenström 등<sup>25</sup>도 각각 27  $\mu\text{Gy}$ 에서 35  $\mu\text{Gy}$ , 45  $\mu\text{Gy}$ 에서 93  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. Gibbs 등<sup>26</sup>은 Panex-E 기종에서 43  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 이번 결과와 매우 유사하였고 그밖에 OP 5기종에서 120  $\mu\text{Gy}$ , Cranex 기종에서 60  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였으며 Stenström 등<sup>16</sup>은 OP 10 기종에서 30  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. Underhill 등<sup>27</sup>은 5가지 기종에서 34  $\mu\text{Gy}$ 에서 61  $\mu\text{Gy}$ 까지였다고 하여 이번 연구 결과와 큰 차이를 보이지 않았으며 김 등<sup>28</sup>은 Panelipse II 기종에서 탐지되지 않았다고 하였다. 지금까지 소개한 대부분의 연구에서는 갑상선을 한 점으로 대표했는데 Bristow 등<sup>17</sup>은 두부 모형의 3개의 절편에서 입체적으로 조사한 결과 부위에 따라 16.4  $\mu\text{Gy}$ 에서 226  $\mu\text{Gy}$ 까지 다양하였음을 보고하였다.

상악동 흡수선량은 Orthopos plus 기종에서 64  $\mu\text{Gy}$ 와 85  $\mu\text{Gy}$ 로 타기종에 비해 2배 내지 3배 정도 컸다. Panoramax 기종을 사용한 Takahashi 등<sup>12</sup>은 6868  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하여 두경부 다른 부위를 포함해서 지금까지 보고된 수치중 가장 큰 수치를 나타냈다. 이밖에 Altonen 등<sup>22</sup>은 OP 기종에서 220  $\mu\text{Gy}$ , Panorex 기종에서 160  $\mu\text{Gy}$ 였다고 보고하였다. 이번 연구에서 뇌 흡수선량은 Panex-E 기종에서는 탐지되지 않았고 타기종에서도 3  $\mu\text{Gy}$ 에서 10  $\mu\text{Gy}$ 까지로 매우 작았다. Gibbs 등<sup>26</sup>은 Panex-E 기종에서 37  $\mu\text{Gy}$ , OP 5 기종과 Cranex 기종에서 55  $\mu\text{Gy}$ 였다고 하였다. 하악체 흡수선량은 Orthopos plus 기종에서 약 100  $\mu\text{Gy}$ 로 나머지 두 기종에서 보다 약 2배 정도 컸으며 측두하악관절 부위의 피부 표면에서의 선량도 Orthopos 기종에서 29  $\mu\text{Gy}$ 에서 46  $\mu\text{Gy}$ 로 3  $\mu\text{Gy}$ 였던 Panelipse 기종과 6  $\mu\text{Gy}$ 였던 Panex-E 기종보다 월등히 컸다. 그러나 Panorex를 이용한 Bushong 등<sup>11</sup>의 결과인 330  $\mu\text{Gy}$ 보다는 월등히 작았다.

필름 크기가 클수록 노출되는 부위가 넓어 일차선 조사 부위에 포함되는 조직이 많고 따라서 산란선이 많이 발생되므로 전반적으로 흡수선량이 증가될 것으로 생각하였으나 이번 연구 결과로는 큰 의미가 없는 것으로 나타났다. 즉 10개의 측정 부위중 넓은 필름을 사용하는 경우에 좁은 필름을 사용하는 경우에 비해 7부위에서 아주 근소하게 흡수선량이 크게 나타났으나 하악지에서 결정적으로 작게 나타나 전체적으로 보면 오히려 좁은 필름을 사용하는 경우의 흡수선량이 더 컸다. 따라서 많은 경우에 5인치  $\times$  12인치 필름으로도 image field가 적절하긴 하나 경우에 따라 측두하악관절 부위가 나타나지 않기 때문에 상악동 부위를 관찰하기 위해서는 6인치  $\times$  12인치 필름이 필요하며 이 경우 방사선 방어 측면에서 큰 문제점이 없으리라 생각된다. 또한 이번 연구 결과로 파노라마방사선사진 촬영시 환자의 두경부 각 부위에 흡수되는 방사선의 양을 전반적으로 알 수 있으므로 보다 효과적인 환자 방어에 대한 기초 자료를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 파노라마방사선사진촬영기종 선택시 참고 자료로 사용될 수 있으리

라 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. Jerman AC, Kinsley EL, Morris CR. Absorbed radiation from panoramic plus bitewing exposures vs full-mouth periapical plus bitewing exposures. *JADA* 1973; 86: 420-3.
2. Tammisalo EH, Karbuvaara YS. Radiation exposure in jaw orthopantomography. *Suom Hammaslääk Toim (Proc Finn Dent Soc)* 1964; 60: 128-37.
3. Paatero YV. On levels of radiation produced by the Orthopantomography. *Suom Hammaslääk Toim (Proc Finn Dent Soc)* 1962; 58: 139-44.
4. Kuba RK, Beck Jr JO. Radiation dosimetry in Panorex roentgenography. Part II. Patterns of radiation distribution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1968; 25: 386-92.
5. Casebow MP. Patient doses from orthopantomograph dental x-ray exposures. *Brit J Radiol* 1973; 46: 230-2.
6. Nyström O, Welander U, Wickman G. The distribution of absorbed dose and mean energy imparted in orthopantomography. *Dentomaxillofac Radiol* 1975; 4: 38-42.
7. Jung T. Gonadal doses resulting from panoramic X-ray examinations of the teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1965; 19: 745-53.
8. van Aken J, van der Linden LWJ. The integral absorbed dose in conventional and panoramic complete-mouth examinations. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1966; 22: 603-16.
9. Kuba RK, Beck Jr JO. Radiation dosimetry in Panorex roentgenography. Part III. Radiation dose measurements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1968; 25: 393-404.
10. Weissman DD, Longhurst GE. Comparative absorbed doses in periapical radiography. II. Panorex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1972; 33: 661-8.
11. Bushong SC, Glaze SA, Foster JK, Copley RL, Miller JT. Panoramic dental radiography for mass screening? *Health Phys* 1973; 25: 489-94.
12. Takahashi J, Todokoro T, Nishikawa S, Shiojima M, Kikuchi A. Patient exposures from full mouth roentgenography, orthopantomography and panagraphy. *Proc 3rd Int Congress Maxillofac Radiol Kyoto* 1974; 199-202.
13. Block AJ, Goepp RA, Mason EW. Thyroid radiation dose during panoramic and cephalometric dental X-ray examinations. *Angle Orthod* 1977; 47: 17-24.
14. Sakamaki K, Ida M, Inoue T, Takeda M, Hirayama Y, Fusayasu K, et al. Measurement of integral absorbed dose by chemical dosimeter in panoramic tomography. *Bull Tokyo Med Dent Univ* 1978; 25: 109-12.
15. Nilsson L, Rohlin M, Thapper K. Exposure distribution, absorbed doses, and energy imparted for panoramic radiography using Orthopantomograph model OP 5. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59: 212-9.
16. Stenström B, Julin P, Karlsson L. Comparison between panoramic radiographic techniques. Part IV: absorbed doses and energy imparted from the Orthopantomograph, model OP 10. *Dentomaxillofac Radiol* 1987; 16: 11-5.
17. Bristow RG, Wood RE, Clark GM. Thyroid dose distribution in dental radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 68: 482-7.
18. Myers DR, Shoaf HK, Wege WR, Carlton WH, Gilbert MA. Radiation exposure during panoramic radiography in children. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978; 46: 588-93.
19. Bankvall G, Engström H, Engström C, Hollender L. Absorbed doses in the craniofacial region during various radiographic and radiotherapeutic procedures. *Dentomaxillofac Radiol* 1985; 14: 19-24.
20. Whitcher BL, Gratt BM, Sickles EA. A leaded apron for thyroid dose reduction in panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980; 49: 467-70.
21. Nelson RC, Rupp TD. Phantom depth dose distributions from Panorex dental x-rays. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32: 982-9.
22. Altonen M, Heikkilä M, Mattila K. A comparative study of radiation doses received during examinations with the Pantomograph, Orthopantomograph, Panorex, Status-X and conventional roentgen apparatus. *Proc Finn Dent Soc* 1974; 70: 67-74.
23. Manson-Hing LR, Greer DF. Radiation exposure and distribution measurements for three panoramic X-ray machines. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977; 44: 313-21.
24. Wall BF, Fisher ES, Paynter R, Hudson A, Bird PD. Doses to patients from pantomographic and conventional dental radiography. *Br J Radiol* 1979; 52: 727-34.
25. Stenström B, Julin P, Richter S. Comparison between panoramic radiographic techniques. III. Radiation absorbed doses with Status-X, Orthopantomograph Model OP5, and Panelète. *Dentomaxillofac Radiol* 1982; 11: 107-16.
26. Gibbs SJ, Pujol A, McDavid WD, Welander U, Tronje G. Patient risk from rotational panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 1988; 17: 25-32.
27. Underhill TE, Chilvarquer I, Kimura K, Langlais RP, McDavid WD, Preece JW, et al. Radiobiologic risk estimation from dental radiology. Part I. Absorbed doses to critical organs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1988; 66: 111-20.
28. 김병삼, 최갑식, 김진수. 파노라마 촬영시 두경부 주요기관에 대한 흡수선량 분포. *대한구강악안면방사선학회지* 1990; 20: 253-63.
29. Johns HE, Cunningham VR. *The physics of radiology*. Springfield, Illinois: Charles C Thomas 1969; 736.
30. Loch S. Four-intraoral film radiographic examination on children imparting less radiation than pantomography. *Scand J Dent Res* 1982; 90: 69-75.