

치과용 X-선 관구의 조정시간

전남대학교 치과대학 구강악안면방사선학교실, *광주과학기술원 기전공학과
윤숙자 · 강병철 · 왕세명* · 고창성*

Settling time of dental x-ray tube head after positioning

Suk-Ja Yoon, Byung-Cheol Kang, Se-Myung Wang*, Chang-Sung Koh*

Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Chonnam National University

*Department of Mechatronics, Kwangju Institute of Science and Technology

ABSTRACT

Purpose : The aim of this study was to introduce a method of obtaining the oscillation graphs of the dental x-ray tube heads relative to time using an accelerometer.

Materials and Methods : An Accelerometer, Piezotron type 8704B25 (Kistler Instrument Co., Amherst, NY, USA) was utilized to measure the horizontal oscillation of the x-ray tube head immediately after positioning the tube head for an intraoral radiograph. The signal from the sensor was transferred to a dynamic signal analyzer, which displayed the magnitude of the acceleration on the Y-axis and time lapse on the X-axis. The horizontal oscillation of the tube head was measured relative to time, and the settling time was also determined on the basis of the acceleration graphs for 6 wall type, 5 floor-fixed type, and 4 mobile type dental x-ray machines.

Results : The oscillation graphs showed that tube head movement decreased rapidly over time. The settling time varied with x-ray machine types. Wall-type x-ray machines had a settling time of up to 6 seconds, 5 seconds for fixed floor-types, and 11 seconds for the mobile-types.

Conclusion : Using an accelerometer, we obtained the oscillation graphs of the dental x-ray tube head relative to time. The oscillation graph with time can guide the operator to decide upon the optimum exposure moment after x-ray tube head positioning for better radiographic resolution. (*Korean J Oral Maxillofac Radiol* 2002; 32 : 159-65)

KEY WORDS : radiography, dental; x-rays; movement

서론

해상도는 서로 가까이 있는 미세한 구조를 구분할 수 있는 능력으로서, 방사선사진의 질을 결정하는 가장 중요한 요인 중 하나이다. 해상도를 높이기 위해 여러 가지 노력이 이루어지고 있다. Eastman Kodak 회사(Eastman Kodak, Rochester, NY, USA)는 Ultraspeed 필름의 높은 대조도와 Ektaspeed 필름의 높은 감광도를 조합한 제품인 Ektaspeed plus 필름을 개발하였다.¹ Ektaspeed plus 필름은 T-Mat 필름과 유사한 평판입자를 이용하는데, 이들 평판입자는 현상 과정에서 작게 나뉘어져 결국 작은 입자의 할로겐화는 결정을 사용한 것과 같은 효과를 얻게 된다.² 최근 디지털 구내 방사선사진은 해상도가 6-10 lp/mm에서 20 lp/mm까지

개선되어 D군, E군 필름과 유사한 수준까지 이르고 있다.^{3,4}

한편, 물체의 움직임이 멈추기까지 걸리는 시간은 조정 시간(settling time 또는 damping time)이라고 정의된다.^{5,6} 방사선 노출 동안 x-선 관구의 움직임은 초점의 크기를 확대시키는 것과 같은 효과가 있어 해상도를 감소시킨다.² Wotzke 등⁵은 세대의 방사선기기를 대상으로 하여 방사선 기기 관구 진동에 대한 연구를 시행하였다. 그들은 핀으로 구멍을 뚫은 납판으로 시준한 방사선속을 필름에 조사하여 관구 진동의 양상을 방사선사진상으로 얻고, 관구의 진동이 사진상에 어떠한 임상적 영향을 미칠 수 있는가를 평가하였다. 그러나 시간 경과에 따른 x-선 관구의 진동의 폭을 측정하지 못하였다.

치과용 x-선 장비에서는 방사선이 조사될 때의 관구의 진폭과 조정시간에 의해 사진상이 영향을 받을 수 있다. 관구 진동에 의해 야기될 수 있는 유해한 효과를 최소화하기 위해서는 조정시간을 정확히 알 필요가 있다. 본 연구는 가속도계를 사용하여 시간 경과에 따른 치과용 x-선

접수일 : 2002년 6월 11일 채택일 : 2002년 7월 26일
Correspondence to : Dr. Suk-Ja Yoon
Dept of Oral and maxillofacial Radiology, School of Dentistry, Chonnam National University, 5 Hak 1 dong, Donggu, Gwangju 501-840 KOREA
Tel) 82-62-220-5429, Fax) 82-62-228-2924
E-mail) yoonfr@hanmail.net

관구의 진동 그래프를 얻고 이를 바탕으로 조정시간을 얻기 위해서 시행되었다.

재료 및 방법

치과용 x-선 기기는 설치 유형에 따라 벽 고정식, 바닥 고정식, 이동식, 세 가지 종류로 총 15대를 선택하였다. 이렇게 세 가지 유형을 선택한 것은 장비가 위치하는 곳에 따라, 그리고 고정 방식에 따라 관구의 진동이 영향을 받을 것이라고 예상되었기 때문이다.⁸ 대상 기기는 한국, 광주에 소재하는 치과의원에서 1년에서 7년간 사용되고 있는 것들로 선택하였다. 벽 고정식은 6대(3대의 Oralix 65S[®] (Gendex Co., Milano, Italy), 2대의 GX-770[®] (Gendex Co., Illinois, USA), 1대의 Oralix DC[®] (Gendex Co., Milano, Italy))를 선정하였다. 바닥 고정식은 5대(3대의 Trophy CCX[®] (Trophy Co., Vincennes, France), 2대의 Max GLS[®] (신흥, 서울, 한국))로 하였다. 이동식은 4대(2대의 Trophy CCX[®] (Trophy Co., Vincennes, France), 1대의 Max GLS[®] (신흥, 서울, 한국), 1대의 Oralix 65S[®] (Gendex Co., Milano, Italy))로 하였다.

감지기로는 가속도계, Piezotron[®] type 8704B25를 사용하였다. Table 1에 감지기 Piezotron[®] type 8704B25의 특성이 설명되어 있다. 감지기는 압전기(壓電氣) 결정체로 이루어져 있다. 가속도계는 신호 증폭기, Coupler type 5134 (Kistler Instrument Co., Amherst, NY, USA)에 연결하였으며, 이 증폭기는 신호 분석기에 연결하였다. 관구 진동에 의한 감지기의 기계적 변형에 의해 진동의 가속도에 상응하는 전하(電荷)가 생성되고, 이 신호는 신호 증폭기에서 증폭 과정을 거쳐, 신호 분석기, HP 35670A (Hewlett packard, CA, USA)로 보내진다. 분석기는 가속도의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키고, 이를 전산화 과정에 의해 시간에 대한 가속도 그래프를 그린다(Fig. 1).^{6,7}

관구 진동의 폭은 수직축을 따라 수평방향으로 가장 크다고 보고되었다.⁵ 이에 따라 본 연구에서는 수평 진동만을 측정하기 위해, 감지기를 x-선 관구의 측면에 부착하여 감지기의 축이 관구의 수평 진동에 평행이 되게 하였다.

Table 1. Characteristics of the sensor, Piezotron[®] Type 8704B25

Feature	K-shear design
Measuring range (g*)	± 25 g*
Sensitivity	198 mV**/g*
Transverse sensitivity	1.4%
Resonant frequency	50.4 kHz
Operating temperature	-55-1000°C
Mass	8 g
Cable	1761C

*g: acceleration of gravity (1 g=9.8 m/s²)

**mV: millivolt

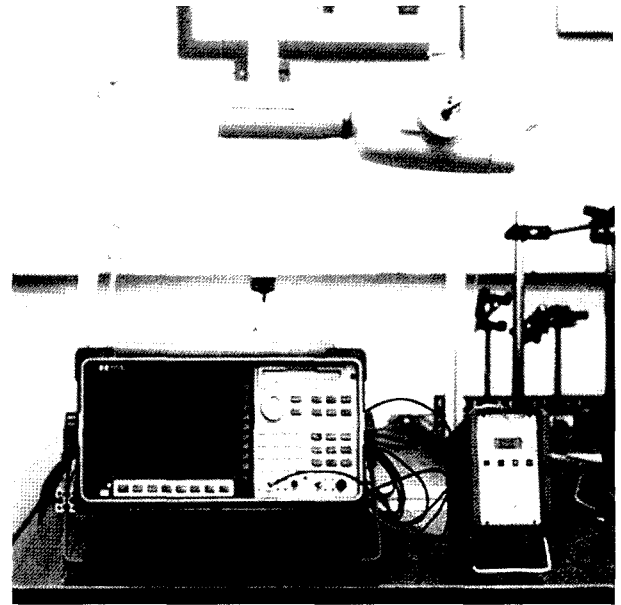


Fig. 1. The sensor, Piezotron[®] type 8704B25 was attached to the lateral surface of the tube heads. The sensor changed the oscillation of the tube head into a voltage proportional to acceleration. A signal amplifier, coupler type 5134 amplified the signals produced by the sensor. A dynamic signal analyzer, HP 35670A[®] filtered and digitized the signals for computation.

한 명의 연구원이 처음에는 관구를 벽에 대해 30도가 되도록 위치시킨 후, 관구를 전내측 수평방향으로 30 cm 움직여 상악 견치 구내사진을 촬영하는 상황을 모방하였다.⁵ 관구를 움직일 때는, 벽 고정식에서는 조절판으로부터, 그리고 바닥 고정식과 이동식에서는 주기동으로부터 뻗어나오는 첫 번째 연결축(joint axis)을 중심으로 한 움직임만으로 관구를 수평방향으로 돌렸으며, 이렇게 함으로써 다른 연결축이나 지지대(extension arm)는 움직이지 않도록 하여 실험에 일관성이 있도록 하였다. 관구에서 손을 떼는 즉시 신호 분석기를 가동시켜 가속도를 측정하였다. 모든 측정은 좌우측 수평이동을 세 번씩 시행하여, 각 x-선 기기마다 6회를 시행하였다.

다양한 환경 요인에 의해 생성되는 잡음신호는 관구가 정지상태에 있을 때 측정하였다. 진동 그래프에서 볼 수 있는 비교적 일정한 양상을 보이는 관구 진동 전의 불규칙한 동요는 관구를 전내방으로 이동시키는 동안에 생성된 것으로 생각된다. 잡음신호의 최고치와 최저치 범위 내에 들어가는 진동은 잡음신호로 간주하였다. 최종 조정시간은 관구 이동시 경과 시간과 잡음신호가 발생한 시간을 배제하고 결정하였다.^{5,6}

세 가지 유형의 방사선기기간의 조정시간의 통계적 유의성 평가를 위해 Kruskal-Wallis test를 시행하였다. 관구의 좌우측 이동시의 조정시간간 통계적 유의성은 Wilcoxon signed rank test로 평가하였다.

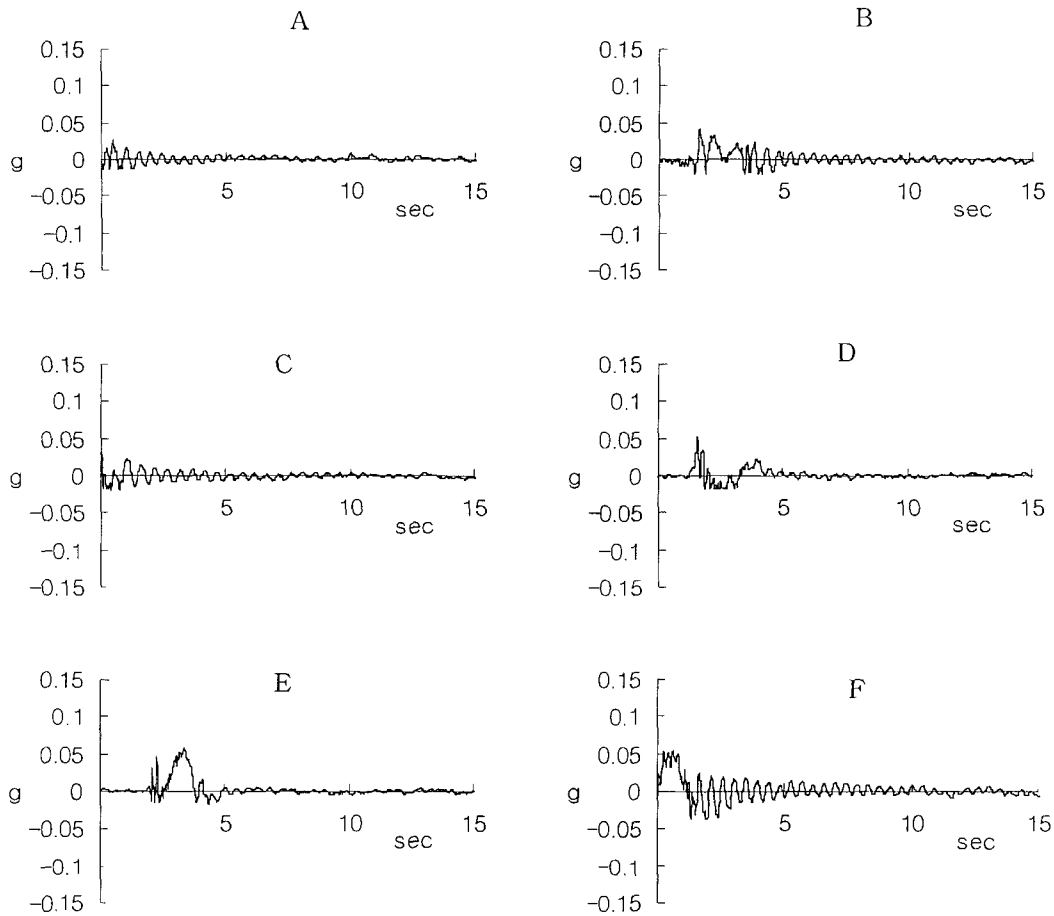


Fig. 2. The examples of the tube head oscillation graphs in the relationship of acceleration (g) and time on the wall type x-ray machines, which were obtained when the tube heads were positioned at the upper right canine and the settling time were the median values of the three measurements. A, B, C: Oralix 65S®, D, E: GX-770®, F: Oralix DC®.

결 과

Figs. 2-4는 각각의 방사선기기 유형에서 관구를 움직여 우측 견치부 촬영시를 모방한 상황으로부터 얻어진 관구 진동 그래프들 중 대표적인 예들이다(Figs. 2-4). 조정시간은 세 번의 측정치의 중간값으로 결정하였다. Kruskal-Wallis test와 함께 post hoc comparison를 시행하였을 때, 벽 고정식과 이동식간에, 그리고 바닥 고정식과 이동식간에 조정시간의 통계적 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 벽 고정식과 바닥 고정식간에는 유의한 차이가 없었다. Wilcoxon signed rank test에서 관구의 좌우측 이동시 조정시간간에는 유의한 차이가 없었다(Table 2).

고 찰

여러 가지 변수가 진폭에 영향을 미칠 수 있으며, 여기에는 장비의 고정 방식과 지지 상태, 지지대와 연결부(joint)의 형태, 장비의 마모도, 관구의 무게, 가해지는 힘

등이 포함된다.⁷ 모든 치과용 x-선 기기는 다양한 상태에 있을 것이므로, 이런 모든 변수들이 관구 진동에 미치는 영향을 평가한다는 것은 불가능하다. 본 연구에서는 이들 변수들 중 몇 가지, 즉 첫 번째 연결축을 중심으로 한 움직임만으로 관구를 30cm 움직이는 것과 관구를 상악 견치 촬영시와 유사하게 위치하는 것을 동일한 조건으로 하였다.

감지기의 재료의 성질로 인해 진동 측정시 몇 가지 환경 요인에 의해 영향을 받을 수 있다. 이러한 환경 요인들에는 온도 변화, 소음, 부식물(corrosive substances), 습도, 자기장, 핵방사선, 응력, 연결선의 잡음신호 등이 포함된다.⁷ 본 연구에서는 관구가 완전히 멈춘 상태에서 각각의 방사선기기의 잡음신호를 측정하고, 조정시간을 결정할 때는 이러한 배경 잡음신호를 배제하였다.

조정시간의 최고치는 벽 고정식, 바닥 고정식, 이동식, 각각에서 약 6초, 5초, 11초였다. 이동식의 조정시간이 벽 고정식과 바닥 고정식 보다 통계적 유의성을 보이면서 더 길었다. 이러한 차이는 바닥 고정식 Max-GLS®와 이동식

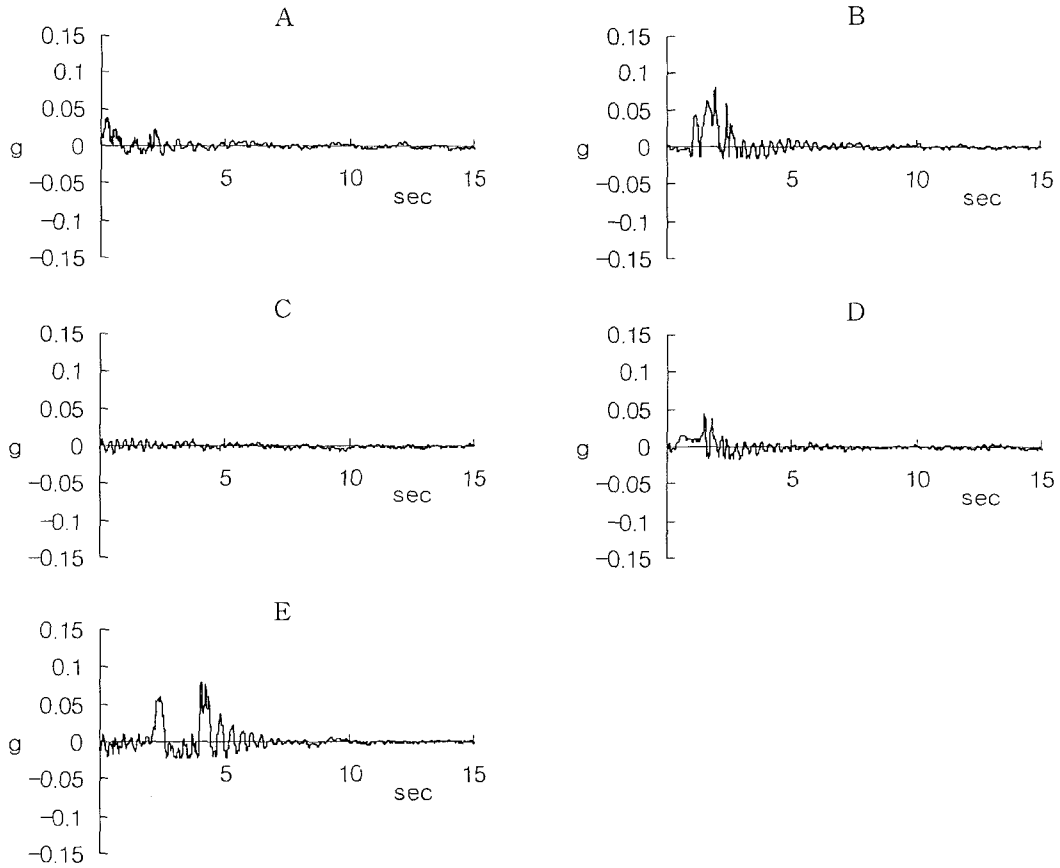


Fig. 3. The examples of the tube head oscillation graphs in the relationship of acceleration (g) and time on the floor-fixed type x-ray machines, which were obtained when the tube heads were positioned at the upper right canine and the settling time were the median values of the three measurements. A, B, C: Trophy CCX[®], D, E: Max GLS[®].

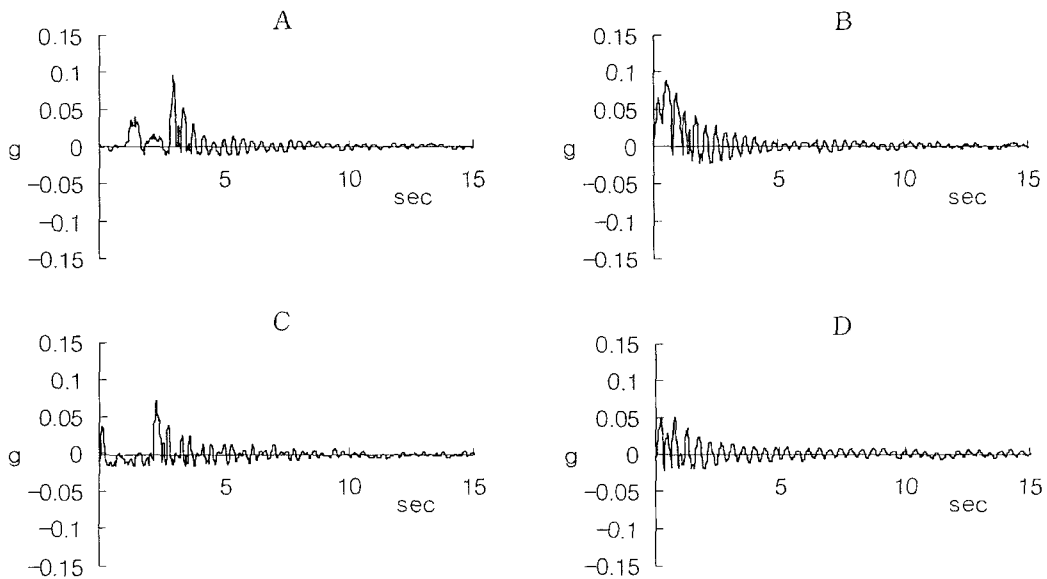


Fig. 4. The examples of the tube head oscillation graphs in the relationship of acceleration (g) and time on the mobile type x-ray machines, which were obtained when the tube heads were positioned at the upper right canine and the settling time were the median values of the three measurements. A, B: Trophy CCX[®], C: Max GLX[®], D: Oralix 65S[®].

Table 2. The settling time was measured on each x-ray machine. The median values of the settling times are described which were obtained when the direction of tube heads was for upper right and left canine teeth

Type of machine	Model	Median value of settling time (second)		
		Upper right canine	Upper left canine	
Wall type	Oralix 65S®	①	4.78	4.27
		②	3.19	3.75
		③	3.22	3.60
	GX-770®	①	1.46	1.61
		②	0.94	0.56
		Oralix DC®	4.28	5.66
Floor-fixed type	Trophy CCX®	①	4.17	4.18
		②	3.25	4.30
		③	3.77	2.69
	Max GLS®	①	3.13	1.84
		②	2.49	2.30
		Mobile type	Trophy CCX®	①
②	7.52			10.47
Max GLS®	①		7.22	9.82
	Oralix 65S®		9.71	10.37

* $p < 0.05$ by Kruskal-Wallis test with post hoc comparison between mobile types and others.

Table 3. The median values of the settling times of three types of machines are described on the basis of Table 2

Type of machine	Median value of settling time(second)	
	Upper right canine	Upper left canine
Wall type	3.205	3.675
Floor-fixed type	3.250	2.690
Mobile type	8.475	10.390

* $p < 0.05$ by Kruskal-Wallis test with post hoc comparison.

Max-GLS®를 서로 비교해 볼 때 명확하게 알 수 있었다. Max-GLS®는 바닥 고정식과 이동식 모두 기본적인 구조는 동일하며 단지 고정 방식만이 다르다. 바닥 고정식 Max-GLS®에서 조정시간의 중간값은 1.84-3.13초 범위 내인 반면, 이동식에서는 7.22-9.82초였다. 이동식의 경우 롤러에 의해 바닥에 고정되기는 하지만, 롤러는 방사선기기의 움직임을 완전히 막을 수 없고 롤러 자체가 바닥과 방사선기기를 연결하는 스프링 역할을 하게 된다. 이러한 이유로 바닥 고정식과 이동식간에는 조정시간의 차이가 발생하게 된다. 방사선기기의 유형이 조정시간을 결정하는 가장 중요한 요인인 것으로 추정된다(Table 2, 3).

가속도보다는 거리를 측정할 때, 관구 진동을 더 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 가속도로부터 거리를 얻기 위해서는 가속도의 수식이 필요하다. 실제 관구 진동은 연결부의 마찰력의 차이로 인해 일정한 진동을 항상 보이지는 않음

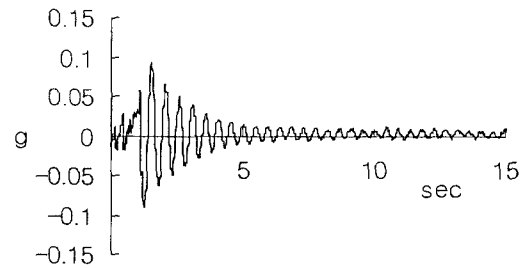


Fig. 5. The oscillation of x-ray tube head of the mobile type Oralix 65S® produced an oscillatory motion like a damped single-degree-of-freedom system in an underdamped case ($\zeta < 1.0$).

므로 가속도의 수식을 얻기는 어려웠다. 그러나, 이동식 Oralix® 65S에서는 일정하게 규격화된 진동 양상을 보여(Fig 5), 거리를 가속도(중력가속도(g))로 대치하여 거리 공식 [1, 2]로부터 가속도 공식 [3, 4]를 구할 수 있었다.

$$x = X e^{-\zeta w_n t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} w_n t + \Phi) \quad [1]$$

또는

$$x = e^{-\zeta w_n t} \left(\frac{x(0) + \zeta w_n x'(0)}{w_n \sqrt{1-\zeta^2}} \sin \sqrt{1-\zeta^2} w_n t + x(0) \cos \sqrt{1-\zeta^2} w_n t \right) \quad [2]$$

$$A = X e^{-\zeta w_n t} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} w_n t + \Phi) \quad [3]$$

또는

$$A = e^{-\zeta w_n t} \left(\frac{x(0) + \zeta w_n x'(0)}{w_n \sqrt{1-\zeta^2}} \sin \sqrt{1-\zeta^2} w_n t + x(0) \cos \sqrt{1-\zeta^2} w_n t \right) \quad [4]$$

(x : 거리, X : 최고치, ζ : 진동감소율, w_n : 주파수, t : 시간(초), Φ : sine 함수의 초기 값(위상), $x(0)$: 속도, $x'(0)$: t 가 0일 때의 거리, A : 중력가속도(g))

$x(0)$, $x'(0)$, ζ , w_n 값들은 아래의 방정식으로부터 얻어진다.

$$\delta = \ln \frac{A_1}{A_4} = \ln \frac{e^{-\zeta w_n t_1} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} w_n t_1 + \phi)}{e^{-\zeta w_n (t_1 + 4\tau_d)} \sin(\sqrt{1-\zeta^2} w_n (t_1 + 4\tau_d) + \phi)}$$

$$= 4 \zeta w_n \tau_d = \frac{8\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

(δ : 대수 감소율, τ_d : 진동이 감해지는 기간)

여기에서 $\tau_d = \frac{2\pi}{w_n \sqrt{1-\zeta^2}}$, $w_d = w_n \sqrt{1-\zeta^2}$ (w_d : 감소되고 있는 진동의 주파수)이므로, ζ 와 w_n 는 각각 0.0465, 12.33으로 얻어진다. 이 값을 공식 [4]에 적용하여 $x(0)$ 과 $x'(0)$ 값을 얻을 수 있다.

$$x(0) = 1.229936343, \quad x'(0) = 0.206655759$$

이렇게 하여 중력가속도(g) 공식이 얻어졌다. 중력가속

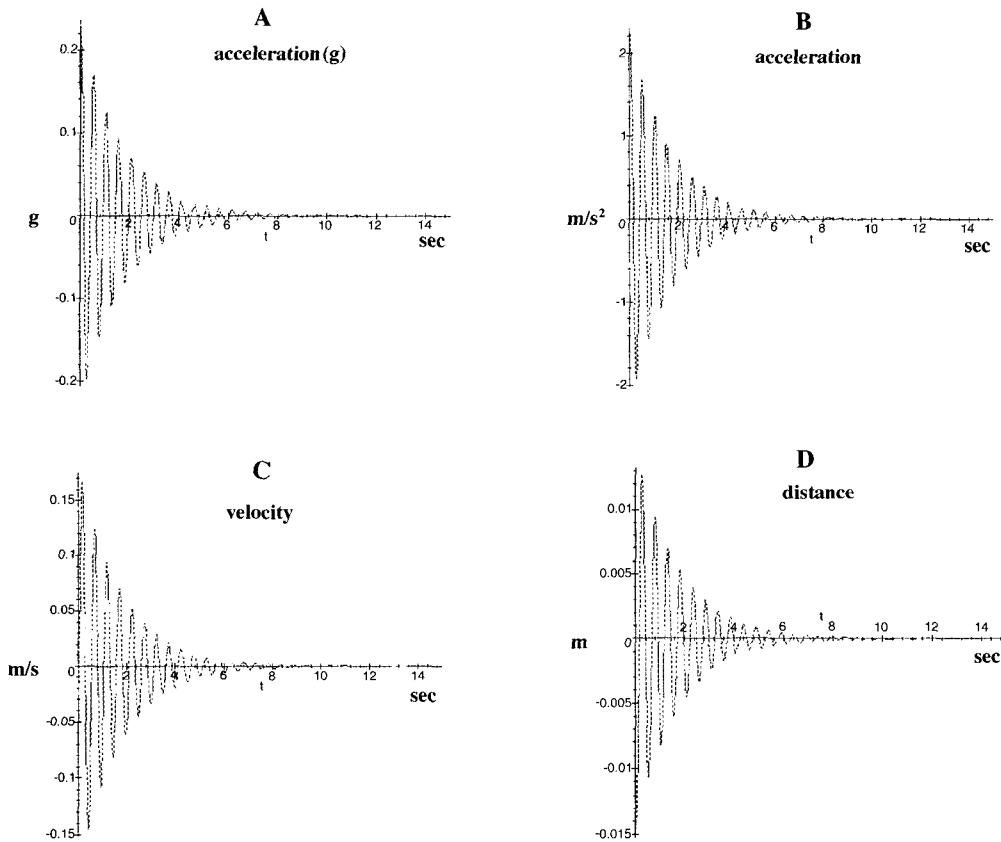


Fig. 6. The acceleration, velocity, and displacement of tube head oscillation on the mobile type Oralix 65S[®] were obtained on the basis of the acceleration equation. The acceleration, velocity, and displacement of tube head oscillation decreased with time. A, The graph of acceleration (g) was illustrated on the basis of the equation (4). The sine curve for the first 1.5 seconds was illustrated only from the equation. After 1.5 seconds the magnitudes corresponded with those on Figure 5. B, The acceleration (m/s²) was obtained by multiplying the acceleration (g) by 9.8. C, The velocity (m/s) was obtained by integrating the acceleration. D, The displacement (m) was obtained by integrating the velocity.

도 (g) 그래프는 공식 [4]를 기초로 얻고, 1.5초 동안의 가상의 sine 곡선이 공식으로부터 얻어졌다. 가속도 (m/s²)는 중력가속도 (g)에 9.8을 곱하여 얻어졌다. 가속도 (m/s²)를 적분하여 얻은 속도 (m/s)를 다시 적분하여 거리 (m)를 얻었다. Fig. 6은 가속도, 속도, 거리의 관계를 이해하는데 도움이 된다 (Fig. 6).^{6,8}

Wotzke 등⁵은 관구를 위치시키고 1.4-2.4초 경과 후 촬영한 필름과 관구가 정지 상태에 있을 때 촬영한 필름을 비교 평가하여, 관구 진동이 임상적으로는 거의 의미가 없는 것 같다고 하였다. 그러나 그들의 연구에서는 관구 진동 중 어느 시기에 방사선을 조사하는가에 따라 해상도에 미칠 수 있는 영향에 대해서는 고려하지 않았으며, 조정시간을 시각적으로만 결정하였으므로 실험의 신뢰도에 있어서 문제가 있다고 생각된다.

본 연구에서는 관구 진동의 가속도를 시간에 대한 그래프로 얻었다. 가속도 그래프를 토대로 볼 때, 진폭은 시간이 지남에 따라 급속히 감소하므로 (Figs. 2-6), 해상도에 대해 관구 진동이 어느 정도의 영향을 미치는가는 관구를

위치시킨 후 어느 시기에 방사선을 조사하는가에 달려있다. 관구 위치 직후 최소한 처음 몇 초간은 방사선사진상의 해상도에 영향을 미칠 것으로 예측할 수 있다. 또한 임상에서는 관구가 수평으로만 움직이는 것이 아니고 수직과 전방으로도 움직이기 때문에, 실제 해상력은 더 크게 영향을 받을 것이다. x-선 관구의 진동은 벽 고정식에서 6초, 바닥 고정식에서 5초, 이동식에서 11초 이내에 멈춘다. 이러한 연구 결과를 근거로 볼 때, 벽 고정식에서는 6초, 바닥 고정식에서는 5초, 이동식에서는 11초의 여유를 두고 방사선을 노출하는 것이 바람직하다. 그러나 본 연구에서는 실험을 위해 구할 수 있는 기기만을 대상으로 하였기 때문에, 본 연구에서 사용한 x-선 기기를 대표 표본이라고 할 수 없다. 또한 본 실험에서는 다만 가속도 그래프를 토대로 관구 진동이 해상도에 미칠 수 있는 영향에 대해 예측하는 정도에 그쳤다. 향후, 관구 진동 중 어느 시기에 방사선이 노출되는가를 측정하는 동시에 그 순간의 관구 진동이 방사선사진상의 해상도에 미치는 영향에 대한 연구가 이루어진다면, 관구 진동이 해상도에 미치는 영향에

대한 더욱 정확한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Thunthy KH, Weinberg R. Sensitometric comparison of Kodak Ektaspeed Plus, Ektaspeed, and Ultraspeed Dental Films. *Oral Surg Oral Med Oral pathol Radiol Endod* 1995; 79: 114-6.
2. White SC, Pharoah MJ. *Oral radiology; Principles and interpretation*. 4th ed. St. Louis: Mosby Inc; 2000. p. 69-70.
3. Farman AG, Scarfe WC. Pixel perception and voxel vision: constructs for a new paradigm in maxillofacial imaging. *Dentomaxillofac Radiol* 1994; 23: 5-9.
4. Farman AG, Farman TT. RVG-ui: A sensor to rival direct-exposure intra-oral x-ray film. *Int J Comput Dent* 1999; 2: 183-96.
5. Wotzke MF, Makinson OF, Pietrobon RA. The effect on radiographic definition of x-ray tube movement. *Dentomaxillofac Radiol* 1991; 20: 117-20.
6. Inman DJ. *Engineering vibratio*. New Jersey: Prentice Hall International Inc; 1996. p. 18-120.
7. Heylen W, Lammens S, Sas P. *Modal analysis theory and testing*. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven; 1995. p. 1-21.
8. Thomson WT, Dahleh MD. *Theory of vibration with applications*. 6th ed. London: Prentice Hall International Inc; 1998. p. 16-35.