디지털 방사선사진술을 이용한 치아색 수복물의 방사선불투과도 비교

김효정 · 김성교
경북대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

RADIOPACITY COMPARISON OF TOOTH COLORED RESTORATIVE MATERIALS WITH DIGITAL RADIOGRAPHY

Hyo-Jung Kim and Sung-Kyo Kim
Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University, Taegu, Korea

The purposes of this study were to evaluate the validity of 2 kinds of digital radiography techniques in evaluating the radiopacity comparison of restorative materials and to determine the relative radiopacities of several kinds of compomer and flowable resin using these techniques.

After taking radiographs of an aluminum step wedge, correlation of optical density calibration curves were evaluated between conventional radiography with transmission densitometer and CD-Dent digital radiography (storage phosphor system) and between conventional one and RVG® digital radiography (CCD system).

Compomers such as Dyract® AP, Compoglass®, and Dyract flow®, and flowable resins such as Ultraseal-XT® *plus*™, Revolution™, Aeliteflo™ and Tetric-flow® were used. Five specimens of 5mm in diameter and 2 mm thick were fabricated with each material. Radiopacities of the materials were measured using the above radiographic techniques and compared.

The results were as follows:

1. When the optical density calibration curves were compared, conventional radiography and both CD-Dent and RVG® digital radiographies showed very high inverse correlations ($\gamma=-0.95$, $\gamma=-0.98$; $p<0.05$).
2. All the tested restorative materials showed levels of radiopacity the same as or greater than that of dentin ($p<0.05$). Radiopacities of Dyract® AP, Compoglass®, and Tetric flow® were greater than those of Revolution™, Aeliteflo™, or dentin ($p<0.05$).
3. Radiopacities of Dyract® AP, Compoglass®, and Tetric flow® were shown to be greater than that of enamel when conventional radiography and CD-Dent digital radiography were used ($p<0.05$). Radiopacity of Dyract flow® was shown to be greater than that of Enamel when conventional radiography was used ($p<0.05$).

Key Words : Digital radiography, Radiopacity, Compomer, Flowable resin, CD-Dent, RVG

Ⅰ. 서 론

수복치료시에 수복물의 치질에 대한 적합도를 확인하거나, 일정기간이 지난 후 수복물과 치질사이의 변화를 알아보기 위해서는 방사선사진을 통한 진단이 필수적이다.

방사선방사선술로는 통상적인 방사선사진술과 최근에 개발되고 있는 디지털 방사선사진술이 있다[1]. 디지털 방사선사진술은 크게 두 가지 종류의 시스템의 방식을 가진다. 하나는 방사선에 대한 검출장치로써 CCD(camera charge-coupled device)를 이용하여 방사선 조사 즉시 상을 컴퓨터

모니터에 나타내 주는 CCD 디지털 시스템이고[2], 다른 하나는 방사선을 phosphor plate에 받아 잠시 저장하였다가 디지털 영상을 레이저 스캐너로 읽어 내는 포스포 스캐닝시스템(Phosphor Scanning system)이다[3,4]. CCD 디지털 시스템 장치로는 RVG®, VIXA®, CDR®, 그리고 Sens A Ray® 등이 있으며 포스포 스캐닝시스템 장치로는 CDDent, DenOptix™, 그리고 Digora® 등이 소개되고 있다. 디지털 방사선사진술은 통상적인 방사선사진술이 가지지 않은 상의 대조도와 밀도를 조절할 수 있고, 방사선 노출량을 감소시킬 수 있으며, 필름의 현상과 정착이 필요하지 않은 간편성을 가진다. 그리고 통상적인 방사선사진술에 비해 상을 보기까지의 작업시간이 단축되고 상의 보관과 전달이 용이하다는 장점을 가진다[5,6].

치과용 재료의 방사선불투과성을 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. Schoenfeld 등[7]은 주어진 방사선상의 변수로 재료의 광학 밀도를 예측할 수 있는 컴퓨터 프로그램의 개발을 위한 이론적인 모델을 보고한 바 있다. Eliasson 등[8]은 인상재의 방사선불투과성을 측정하면서 표준재료로 aluminum penetrometer를 사용하여 densitometer 상의 수치를 알루미늄 두께로 환산하여 비교한 바 있다. 이후의 많은 연구자들[9-16]은 aluminum step wedge를 이용하여 얻은 기준측정곡선(reference calibration curve)을 이용하여 동등 알루미늄 두께치 (equivalent aluminum thickness)로 여러 가지 치과용 재료의 방사선불투과성을 측정, 비교하는 transmission densitometry 방법을 사용하였다. 다른 방법으로는 디지털 방사선사진술을 이용한 computer-aided densitometric image analysis(CADIA)로, 모니터 상에 나타나는 상의 gray pixel value를 이용하여 치조골의 밀도나 수복용 재료의 방사선불투과성을 측정하는 방법들이 보고되었다[17-19].

복합레진은 심미적인 이유, 무수은성, 부식저항성, 비열전도성 등의 물성으로 전치부 뿐만 아니라 구치부의 수복재료로써도 사용이 증가하고 있다[20]. 그러나 초기에 개발된 복합레진들은 방사선불투과성의 결여로 인해 방사선사진상의 진단이 용이하지 않았다. 이차우식 또는 탈회된 상아질과 수복물을 구분하고 수복물과 치수 사이의 거리를 파악하며, 치은상의 과잉변연을 검사하고 수복물의 기포나 다른 결함의 위치파악 등을 위해서는 수복용 복합레진이 방사선불투과성을 가질 필요가 있다[21]. 복합레진에 이러한 방사선불투과성을 부여하기 위해서 barium, strontium, zinc, 또는 zirconium 등 원자번호가 높은 원소가 filler로 사용되고 있다[22,23]. 그리고 복합레진의 방사선불투과성 정도는 폴리머 기질의 선택, filler 입자의 크기, 밀도, 그리고 부가적인 첨가물뿐만 아니라 filler의 화학적 성질에 의해서도 조절된다고 하였다[24]. 수복치료에 사용되는 아말감이나 금속 수복물의 방사선불투과성은 최고치를 나타내지만 복합레진은 매우 다양한 범위의 방사선불투과성을 가진다[25-27]. ISO 4049 기준에 따르면 resin-based material은 2mm 두께의 알루미늄이 가지는 방사선불투과성보다 큰 방사선불투과성을 가져야 한다고 규정하고 있다[28].

구치부 제2급 와동에 사용되는 복합레진의 적정 방사선불투과성에 대한 이전의 여러 연구들에 의하면, 방사선사진상 효과적인 이차우식의 진단을 위해서는 수복물의 방사선불투과성이 법랑질이 가지는 방사선불투과성보다 커야한다고 보고하였다[29-33].

최근에 수복재로 소개되는 compomer는 poly-acid modified composite resin으로 불소방출의 성질과 함께 복합레진이 가지는 심미성과 조작의 용이성을 가지며 강도는 낮으나 마모저항성은 높다고 보고되고 있다[34]. Bouschiller 등[35]은 compomer의 방사선불투과성을 측정한 바 법랑질보다 높은 방사선불투과성을 나타내었으므로 방사선적인 진단에 적정하였다고 보고한 바 있다. Feilzer 등[36]과 Carvalho 등[37]은 복합레진의 중합수축은 C-factor에 의해 좌우되는데 복합레진이 가지는 탄성적인 변성과 유동성이 중합수축의 양을 완화시킬 수 있다고 하여, 유동성 레진(flowable resin)은 flexibility를 증가시켜 중합수축의 완화를 기대하게 하고 주사기를 이용하여 레진을 배출할 수 있게 하여 (syringe delivery) 와동에의 적용을 용이하게 한 최신 수복재의 일종이다.

이러한 compomer 및 유동성 레진은 작은 크기의 2급 와동에도 부분적으로 적용될 수 있다고 추천되고 있으나, compomer 및 낮은 점성을 가지는 유동성 레진은 전치 및 구치에 일반적으로 사용되는 수복용 복합레진에 비해 filler의 함량이 낮다고 알려져 있으며 filler에 의해 좌우되는 이들의 방사선불투과성에 관해 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 최근에 소개되고 있는 2 방식의 디지털 방사선사진술이 수복물의 방사선불투과성 비교에 적절하게 이용될 수 있는지의 여부를 평가하고, 이들 방식을 이용하여 수종의 compomer 및 유동성 레진의 방사선불투과도를 측정, 비교하여 소기의 결과를 얻었으므로 이에 보고하는 바이다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 재 료

각 방사선사진술의 방사선불투과도 측정치 상관관계를 평가하기 위해서는 aluminum step wedge를 사용하였고, 치아색 수복재로는 Table 1에서와 같이 3종의 compomer (Dyract® AP, Compoglass®, Dyract flow®)와 4종의 유동성 레진(Ultraseal-XT® *plus*™, Revolution™, Aeliteflo™, Tetric-flow®)을 사용하였으며, 이들 수복재들의 방사선불투과도의 비교를 위해서는 법랑질, 상아질 시편을 사용하였다.

Table 1. Flowable resin composites and compomers used in this study

	Product	Manufacturer	Filler%(wt/vol)	Type	Matrix
Flowable Resin	Aeliteflo™	BiscoDental	60%/43%	Microhybrid	bis-GMA
"	Revolution™	Kerr/sybron	62%/46%	Hybrid	bis-GMA
"	UltrasealXT® *plus*™	Ultradent	60%/37%	Hybrid	bis-GMA
"	Tetric Flow®	Ivoclar	68%/44%	Ceromer	bisGMA/UDMA
Compomer	Dyract® AP	Dentsply	70%	PMRC	
"	Compoglass®	Ivoclar-vivadent	71%	PMRC	
"	Dyract flow®	Dentsply	59%	PMRC	

2. 시편제작

Compomer와 유동성 레진의 시편 제작을 위해서 두께 2mm, 지름 5mm인 원형의 금속주형을 제작 한 후 재료를 충전하고 양쪽 면에 유리판을 대고 조임쇠로 압접하였다. 광조사기(Curing light XL 1000, 3M Co. U.S.A.)를 사용하여 시편의 위, 아래에서 각 각 60초간 광조사하여 중합시켰다. 광조사기는 광측정기 (hand-held radiometer, Model 100, Demetron Research)로 적당한 강도를 가지고 있음을 확인하였다. 중합된 시편은 주형에서 제거하여 건조한 상태로 보관하였다. 각 재료의 종류별로 5개씩 35개의 시편을 제작하였다. 치질 시편제작을 위해서는 발거된 구치 5개를 2mm 두께로 횡으로 절단하여서 법랑질과 상아질의 시편을 얻었다. 이때 일정한 두께를 유지하기 위하여 다이아몬드 날이 부착된 저속 절단기를 사용하였다.

방사선불투과성의 기준을 얻기 위해 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 및 10mm 두께의 10단계(step)로 되어 있으며 순도 99.5% 이상인 aluminum step wedge를 제작하였고, 방사선 필름 고유의 base와 fog 측정을 위해 4mm 두께의 amalgam cylinder를 제작하였다.

3. 방사선촬영 및 방사선불투과도 측정

Aluminum step wedge, 법랑질 및 상아질 시편, amalgam cylinder, 그리고 7종의 수복재 시편을 통상적인 방사선사진 E-speed 필름(Agfa Dentus M2, AGFA-Gevaert N. V., Mortsel, Belgium) 및 2종의 디지털 방사선 필름 상에 함께 위치시키고 방사선 촬영을 하였다(Fig. 1).

통상적인 방사선사진술을 위한 촬영은 70kvp, 8mA로 고정된 dental X-ray unit(Trophy)를 사용하여 target과 film 거리 25cm, 조사시간 0.2초로 하여 시행하였다. 촬영된 방사선 필름은 자동 현상기를 이용하여 현상하였다. 현상된 방사선사진상에서 수복물 시편과 법랑질, 상아질, 그리고 aluminum step wedge의 방사선불투과도는 transmission densitometer(X-rite 331, Grandville, Michigan, U.S.A.)를 이용하여 측정하였다.

디지털 방사선사진술을 위해서는 phosphor scanning system인 CD-Dent(Di-Gi Dent, Israel)와 CCD system인 RVG®(Trophy, France)를 사용하였다. 디지털 방사선사진촬영시 조사시간만 0.04초로 단축하여 촬영하였고 나머지 촬영조건을 통상적인 방사선사진의 경우와 동일하게 하였다. 그리고 aluminum step wedge의 방사선불투과도 측정을 위해 컴퓨터 광학밀도 분석(computer-aided densitometric image analysis: CADIA)을 이용하였는데, CD-Dent의 경우에는 이에 동반되어 있는 Dent-A-View VI.0(Di-Gi Dent, Israel) 프로그램을 이용하였고, RVG®를 이용한 경우에는 이에 동반되어 있는 Trophy 프로그램(Trophy, France)을 이용하였다. 이 두 방식 모두 표본의 Gray pixel value를 나타내게 되는데, 최소 및 최대 gray level은 0(the darkest grey/black)에서 255(the lightest/white)사이의 범위로 되어 있다(Fig. 2).

동일시편 내에서의 편차를 보상하기 위해, 통상적인 방사선사진술 및 디지털 방사선사진술 공히 동일 시편 내에서 임의의 3점을 선택하여 광학밀도를 측정하고 이들의 평균치를 택하였다. 그리고 시편 부분의 평균광학밀도 측정치(gross optical density)에서 필름 자체의 광학밀도 측정치

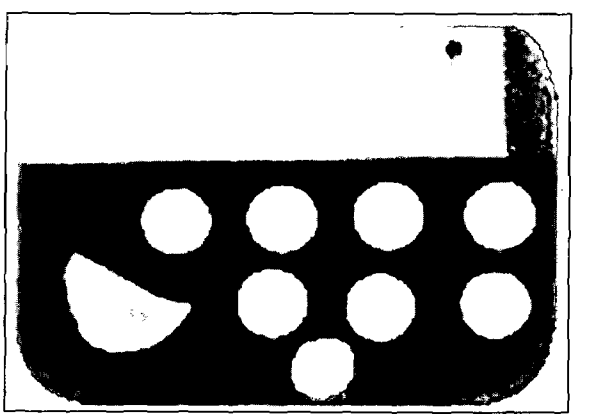

Fig. 1. A radiograph of aluminum step wedge, dentin, enamel, and 7 restorative material specimens which were taken in a film together.

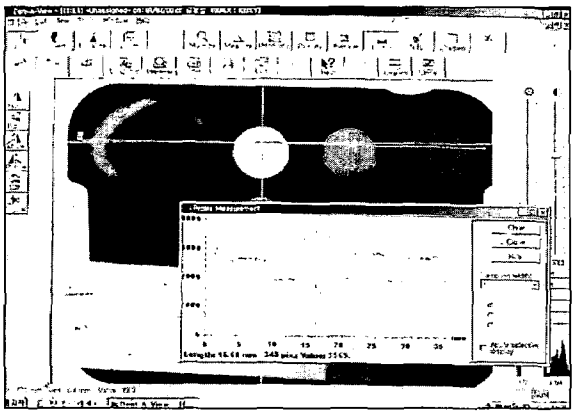

Fig. 2. A computer monitor view of CD-Dent to measure radiopacity of the specimens.

(필름의 base와 fog)를 뺀 값을 시편 자체의 광학밀도(net optical density)로 하였다(식 1).

Net Optical Density = Gross Optical Density - Film Base & Fog …… 식 1

4. 통계적 분석

통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상을 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 aluminum step wedge의 광학밀도 측정곡선(calibration curve)과 CD-Dent 및 RVG® 등 디지털 방사선사진술로 얻은 상을 CADIA로 불투과도를 측정한 aluminum step wedge의 광학밀도 측정곡선들 사이의 상관관계를 상관분석을 이용하여 분석하였고, 분산분석법을 이용하여 각 수복재료와 법랑질 및 상아질의 광학밀도 측정치를 비교, 분석하였으며, Scheffe's test를 이용하여 사후 검증하였다.

Ⅲ. 성 적

1. Aluminum step wedge 광학밀도 측정곡선

통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상에서 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 aluminum step wedge 광학밀도 측정곡선은 Fig. 3에 나타나 있다. 방사선불투과도가 높을수록 광학밀도가 낮게 나타났다. 그리고 CD-Dent 및 RVG® 등 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서 CADIA로 방사선불투과도를 측정한 aluminum step wedge의 광학밀도 측정곡선은 Fig. 4 및 Fig. 5와 같이 나타났다. 여기에서는 방사선불투과도가 높을수록 optical density가 높게 나타났다. 통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상에서 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 곡선과 CD-Dent 및 RVG® 등 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서 CADIA로 불투과도를 측정한 곡선들 사이에는 각각 상관계수가 −0.95 및 −0.98로 나타나 매우 높은 역상관관계를 보여주었다.

2. 수복재의 방사선불투과도

통상적인 방사선사진술로 촬영하여 얻은, compomer와 유동성 레진 시편, 그리고 법랑질과 상아질의 필름 상에서 transmission densitometer를 이용하여 측정된 방사선불투과도 측정치는 Table 2와 같이 나타났고, CD-Dent와 RVG® 등 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서 CADIA를 이용하여 측정된 방사선불투과도(gray pixel value)는 Table 3 및 4와 같이 각각 나타났다. 그리고 각 수복재들의

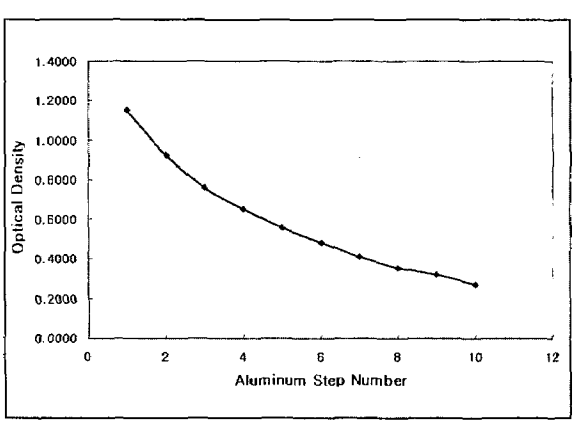

Fig. 3. Optical density calibration curve of aluminum step wedge obtained with conventional radiography and transmission densitometer.

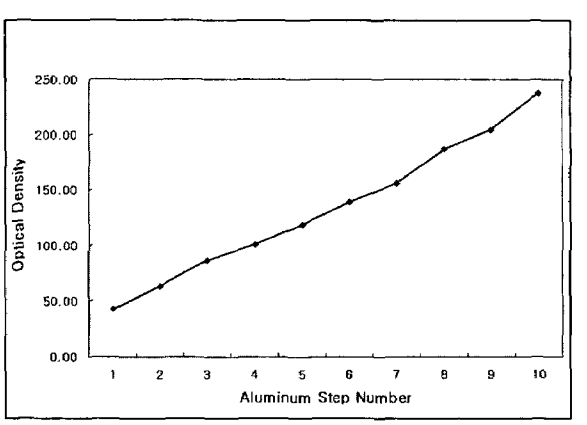

Fig. 4. Optical density calibration curve of aluminum step wedge obtained with CD-Dent digital radiography.

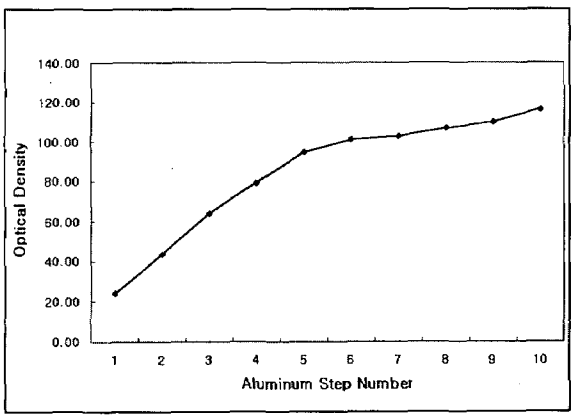

Fig. 5. Optical density calibration curve of aluminum step wedge obtained with RVG® digital radiography.

Table 2. Optical density of restorative materials measured with conventional radiography and transmission densitometer

Object	Products	n	Mean	S.D.
Flowable Resin	Aeliteflo™	5	0.9033	0.0221
〃	Revolution™	5	0.8220	0.0533
〃	Ultraseal-XT *plus*™	5	0.7720	0.0383
〃	Tetric-flow®	5	0.4260	0.0237
Compomer	Dyract® AP	5	0.3980	0.0171
〃	Compoglass®	5	0.4713	0.0188
〃	Dyract-flow®	5	0.5986	0.0310
Tooth	Enamel	5	0.7714	0.0601
〃	Dentin	5	0.8493	0.1244

Table 3. Optical density of restorative materials measured with CD-Dent digital radiography

Object	Products	n	Mean	S.D.
Flowable Resin	Aeliteflo™	5	81.3300	5.9239
〃	Revolution™	5	93.2700	9.7715
〃	Ultraseal-XT *plus*™	5	97.8000	10.1710
〃	Tetric-flow®	5	174.6700	8.8706
Compomer	Dyract® AP	5	172.2700	10.8490
〃	Compoglass®	5	160.3300	12.8790
〃	Dyract-flow®	5	121.8000	7.7389
Tooth	Enamel	5	108.7300	6.2095
〃	Dentin	5	70.0000	12.0900

방사선불투과성 비교에 대한 분석은 Table 5에 나타내었다.

측정된 모든 수복재 공히 상아질과 유사하거나 높은 방사선불투과도를 나타내었다($p<0.05$).

Compomer인 Dyract® AP와 Compoglass®, 그리고 유동성 레진인 Tetric-flow®는 통상적인 방사선사진술 및 2종의 디지털 방사선사진술에서 공히 유동성 레진인 Revolution™과 Aeliteflo™, 그리고 상아질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었다($p<0.05$).

Compomer인 Dyract® AP와 Compoglass®, 그리고 유동성 레진인 Tetric-flow® 는 통상적인 방사선사진술 및 CD-Dent 디지털 방사선사진술에서 공히 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었고($p<0.05$), compomer인 Dyract flow®는 통상적인 방사선사진술에서만 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었다($p<0.05$).

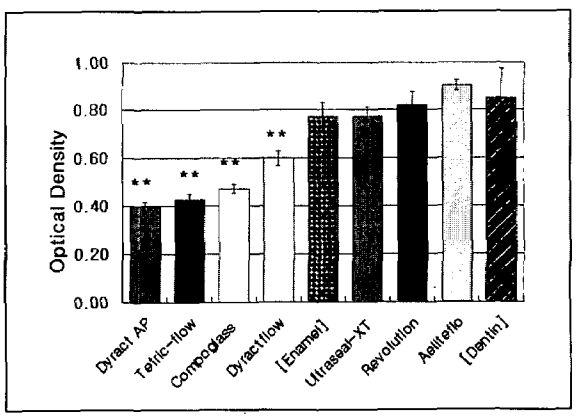

Fig. 6. Optical density of restorative materials measured with conventional radiography and transmission densitometer. Values are means± S.D. (n=5). **$p<0.05$ vs. enamel and dentin.

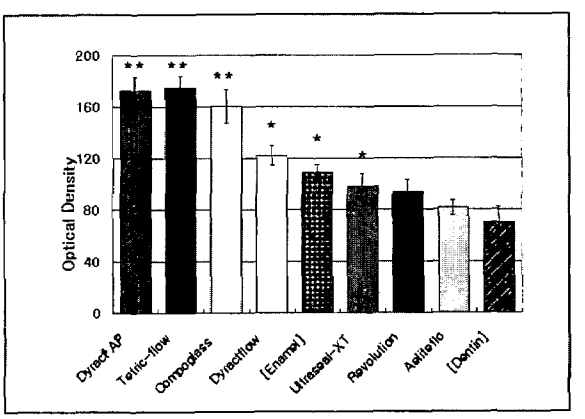

Fig. 7. Optical density of restorative materials measured with CD-Dent digital radiography. Values are means±S.D. (n=5).**$p<0.05$ vs. enamel and dentin, and *$p<0.05$ vs. dentin.

Table 4. Optical density of restorative materials measured with RVG® digital radiography

Object	Products	n	Mean	S.D.
Flowable Resin	Aeliteflo™	5	73.4500	10.9530
〃	Revolution™	5	75.4200	12.5540
〃	Ultraseal-XT *plus*™	5	82.2100	8.7336
〃	Tetric-flow®	5	109.9000	12.7930
Compomer	Dyract® AP	5	111.5900	13.9870
〃	Compoglass®	5	105.7500	12.5940
〃	Dyract-flow®	5	95.9600	11.7330
Tooth	Enamel	5	88.2700	8.2000
〃	Dentin	5	69.8100	6.7815

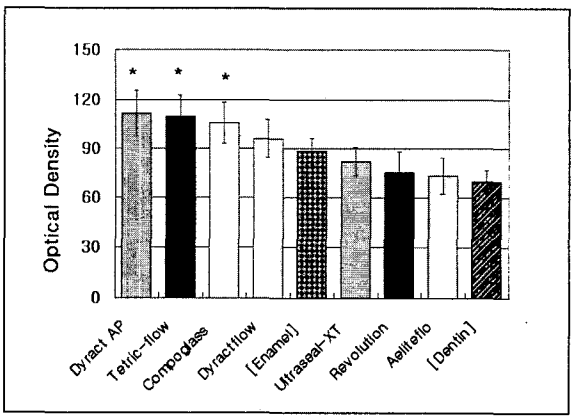

Fig. 8. Optical density of restorative materials measured with RVG® digital radiography. Values are means±S.D. (n=5). *p<0.05 vs. dentin.

Table 5. Statistical analysis for transmission densitometer values from conventional radiography, digitized values from CD-Dent and from RVG® digital radiography

	Dyract AP	Tetric Flow	Compoglass	Dyract Flow	Enamel	Ultraseal	Revolution	AeliteFlo	Dentin
Dyract AP		NS/NS/NS	NS/NS/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/*	*/*/*	*/*/*
Tetric Flow	NS/NS/NS		NS/NS/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/*	*/*/*	*/*/*
Compoglass	NS/NS/NS	NS/NS/NS		NS/*/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/*	*/*/*	*/*/*
Dyract Flow	*/*/NS	*/*/NS	NS/*/NS		*/NS/NS	*/NS/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/*/NS
Enamel	*/*/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/NS/NS		NS/NS/NS	NS/NS/NS	NS/*/NS	NS/*/NS
Ultraseal	*/*/NS	*/*/NS	*/*/NS	*/NS/NS	NS/NS/NS		NS/NS/NS	NS/NS/NS	NS/*/NS
Revolution	*/*/*	*/*/*	*/*/*	*/*/NS	NS/NS/NS	NS/NS/NS		NS/NS/NS	NS/NS/NS
AeliteFlo	*/*/*	*/*/*	*/*/*	*/*/NS	NS/*/NS	NS/NS/NS	NS/NS/NS		NS/NS/NS
Dentin	*/*/*	*/*/*	*/*/*	*/*/NS	NS/*/NS	NS/*/NS	NS/NS/NS	NS/NS/NS	

Readings from conventional radiography with densitometer / CD-Dent readings / RVG® readings (n = 5).
* Statistically significantly different in readings (p<0.05).
NS = Not significantly different (p>0.05).

사진술 별로 본 수복재간 방사선불투과도의 유의성에 있어서는 통상적인 방사선사진술(22경우) 및 CD-Dent 디지털 방사선사진술(23경우)이 RVG® 디지털 방사선사진술(9경우)에 비해 많은 경우에서 수복재간 차이를 보여주었다.

Ⅳ. 고 찰

방사선사진은 질병의 진단 및 치료경과에 관한 정보를 제공할 뿐 아니라 치과용 재료가 가져야 할 방사선불투과성의 적절성을 판단하는 데에도 매우 유용하게 사용된다.

방사선사진술에는 통상적인 방사선사진술 외에 디지털 방사선사진술이 1987년부터 있어왔다[38]. 그러나 이 디지털시스템의 분명한 장점에도 불구하고 널리 사용되지 않았던 것은 상의 질이 통상적인 방사선사진의 것보다 못할 것이라는 점이었다[39]. 최근 모든 기종의 질이 향상되었고 새 시스템도 소개되었으며, 해상도가 향상되었고 noise도 감소하였다. 따라서 디지털방사선 상의 질적 향상으로 상의 정확성이 증진되었다고 보고되었다[40].

통상적인 방사선사진술에서는 방사선 감광지인 필름에 방사선을 노출시키고 이를 현상 및 정착과정을 통해 필름에 상을 보관한다. 한편, 디지털 방사선사진술에서는 센서로 되어있는 필름에 방사선을 노출시키면 이에 연결되어 있는 CCD검출장치가 상을 컴퓨터에 바로 보내거나, 노출된 방사선을 phosphor plate로 된 필름에 잠시 저장하였다가 이 디지털 상을 레이저 스캐너로 읽어서 컴퓨터 모니터로 상을 나타내거나 보관한다[4].

Brägger 등[18] 은 치주수술 후의 미묘한 치조골 소실의 변화를 인지하는데 있어서, 통상적인 방사선사진술, digital

subtraction 기법, 그리고 디지털방사선술을 이용한 CADIA (computer -assisted densitometric image analysis)기법 등 세 가지 방법 중에서 CADIA 기법이 가장 민감하게 골 소실의 변화를 나타내 주었음을 보고한 바 있고, Sullivan 등[41] 은 Trophy 방사선 기기를 사용하여 방사선을 방출하고 E-속도의 코닥필름을 사용한 통상적인 방사선사진과 4세대 Trophy RVG 상을 이용하여 인간의 악골시편에서 인공 치근단병소 형성 전후의 치근단부위 판독의 정확성을 비교한 바, 디지털 방사선사진의 상이 통상적인 방사선사진상과 유사하거나 우수한 정확성을 나타내었다고 하였다. 그리고 다른 연구자들[2,3,5] 은 발거치에서 인접면 우식 모델을 만들어 방사선사진상의 진단에 관해 통상적인 방법과 2종의 디지털 방사선사진기법을 이용하여 실험한 바, CCD시스템은 통상적인 방사선사진과 비교시 우식 진단율이 비슷하거나 낮았고 phosphor scanning 시스템에서의 강화된 상은 인접면 우식의 진단율이 더 높았다고 보고하였다.

Gürdal과 Akedniz[17]은 9종의 복합레진 수복물의 방사선불투과도를 측정하는 방법으로 기존의 densitometer를 이용한 경우와 간접 디지털영상분석법을 이용한 경우의 차이점을 연구하여 간접 디지털영상분석법을 이용한 경우가 복합레진의 방사선불투과성을 평가하는데 더 유용하였다고 보고하였다. Murchinson 등[42] 은 유동성 레진의 방사선불투과성을 측정하면서 기존의 densitometer를 이용한 것과 CADIA 방법을 비교하여 두 방법간의 aluminum step wedge의 측정곡선을 통한 상관관계를 조사하여 이 두 가지 방법간에는 강한 역상관관계가 나타났다고 보고하였다.

본 연구에서는 최근에 소개되고 있는 두 종류의 디지털 방사선사진술 즉, CCD 시스템으로 대표적인 RVG®와 phosphor scanning system으로는 CD-Dent가 수복물의 방사선불투과성 비교에 적절하게 이용될 수 있는지의 여부를 평가하고자 하였다. 이의 평가를 위해 10단계 aluminum step wedge를 통상적인 방사선사진술로 촬영하여 얻은 필름의 상에서 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 경우를 기준으로 하여, 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서 CADIA로 불투과도를 측정한 경우를 비교하였다. 이 비교의 방법으로 각 사진술에서 얻은 광학밀도 측정곡선 사이의 상관계수를 이용하였는데, 그 결과, 통상적인 방사선사진술로 얻은 측정곡선과 CD-Dent 방법에 의한 측정곡선 사이($\gamma=-0.95$) 및 RVG® 방법에 의한 측정곡선 사이($\gamma=-0.98$)에서 모두 매우 높은 역상관관계를 나타내었다. 디지털 방사선사진술에서 사용된 CADIA방법은 컴퓨터 모니터 상에 나타난 상의 gray pixel value를 256단계로 표준화시켜 나타내 주는 방법이다. 따라서 본 연구에서 나타난 높은 상관관계는 방사선불투과도를 나타내는데 있어, 디지털 방사선술에서 이용되는 상의 gray pixel value 표준화 방법이 통상적인 방사선사진술에서 transmission densitometer로 방사선불투과도를 나타내는 경우와 유사한 정도의 정확성 또는 분별력을 갖는다는 것을 의미한다고 볼 수 있고, 과거에 비해 최근의 디지털방사선 상의 정확성이 우수해졌다는 것으로 해석할 수 있다. 그리고 이 결과는 수복물을 대상으로 한 Murchinson 등[42] 의 연구에서 얻어진 상관관계($\gamma=-0.98$)와 유사한 양상을 보인 것으로서, 이 2종의 디지털 방사선사진술 모두 치의학 영역에서 방사선불투과도를 측정, 비교하는데 유용하게 사용될 수 있다는 것으로 볼 수 있다.

그리고 본 연구에서 역상관관계를 나타낸 것은 사진술간의 불투과도 측정원리의 차이로 인한 결과로 해석된다. 즉, 통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상을 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 경우에는 방사선불투과도가 높을수록 optical density가 낮게 나타나는 반면, 디지털 방사선사진술로 얻은 상을 CADIA로 불투과도를 측정한 경우에는 방사선불투과도가 높을수록 optical density가 높게 나타났기 때문이다.

최근에 개발된 compomer는 통상의 glass-ionomer에 비해 높은 cavosurface seal을 가지면서 법랑질 및 상아질에 대한 전단결합강도가 높으며 불소의 방출로 이차우식 예방에도 장점을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며, 3급 및 5급 와동과 부식 병소에의 수복에 추천되고 있다[34].

유동성 레진은 복합레진의 단점중 하나인 수축응력을 감소시키기 위한 목적으로 복합레진의 유동성을 증가시킨 것으로 수복재로서 임상에 사용되고 있다. Feilzer 등[36] 은 복합레진이 가지는 단점 중 하나인 중합수축은 치질과의 결합력을 감소시키면서 수복 후에 발생할 수 있는 지각과민의 원인이 되는데 중합수축의 량은 복합레진이 가지는 탄성적인 변화와 유동성에 의해 감소된다고 보고하였다.

치아 수복물은 다른 수복물과 마찬가지로 방사선불투과성을 필요로 한다. 최근에 구치부의 2급 와동에까지 그 사용이 늘어나고 있는 복합레진 수복물의 경우, 방사선불투과성이 우수한 아말감이나 금속 수복물과 달리, 초기에 개발된 것은 방사선불투과성이 결여되어 있어 수복 후 이차우식을 진단하고 수복의 성공여부를 평가하기 위한 방사선사진상의 진단에 많은 문제점을 가지고 있었다. 1979년 Abou-Tabl 등[25] 이 18종의 복합레진에서 방사선불투과도를 측정하였는데 1종류만이 법랑질보다 높게 나타났고 나머지 대부분은 상아질보다도 낮게 나타났다고 하였다. 그 이후 1988년에 발표된 ISO No.4049 기준[28] 에 의하면 레진성 재료(resin-based material)의 방사선불투과성은 2mm 두께의 알루미늄이 가지는 방사선불투과성보다 커야 한다고 규정하고 있다. 그러나 Tveit와 Espelid[30] 은 2급 와동의 경우에는 방사선이 인접한 협, 설측 두 층의 치질을 통과하여야 하므로 ISO기준을 임상에 그대로 적용하는 데는 문제점이 있을 수 있다하여, 2급 와동에 인위적으로 이차우식증을 만들고 3종의 복합레진과 amalgam으로 충전한 후 방

사선사진 상에서 이차우식 진단의 용이성을 연구한 바, 법랑질보다 약간 높은 방사선불투과성을 가지는 경우가 가장 높은 이차우식 진단율을 보였다고 보고하였다. 김 등[31]도 발거치상에서 이차우식 모형을 만들고 6종의 복합레진을 사용하여 충전한 다음 방사선사진 상에서 이차우식 진단율을 평가한 바, 역시 법랑질보다 유사하거나 약간 높은 방사선불투과성을 나타내는 경우에 진단율이 높았다고 하였다.

그리고 방사선불투과성 부여에 관해, Bowen과 Cleek[22]은 복합레진의 filler 내 barium 함량에 따라 방사선불투과도를 조절할 수 있다고 하였고, Taira 등[23]은 방사선불투과성 filler로서 zirconium의 사용이 가능하고 15%의 zirconium을 filler 내에 함유시켰을 경우 법랑질과 유사한 방사선불투과도를 가진다고 하였다.

치과용 재료의 방사선불투과도를 측정하는 데는 여러 가지 방법이 있는데 그 중에서 알루미늄상응치(aluminum equivalent value)가 통상적으로 많이 사용되어져 왔다. Eliasson 등[8]은 인상재의 방사선불투과도를 측정하면서 이의 기준으로 aluminum penetrometer를 사용한 바 있고, Cook[21]은 알루미늄상응치를 이용하여 33종 복합레진의 방사선불투과성을 측정하여 본 바, 30% 정도가 상아질보다 방사선불투과성이 낮았다고 하였다. Pritesh 등[12]은 근단 역충전에 사용이 가능한 재료의 방사선불투과성을 알루미늄상응치로 평가하여 역충전재는 근관 sealer보다 방사선불투과도가 높아야 한다고 하였다. 그리고 Sidhu 등[11]도 resin-modified glass-ionomer restorative cement의 방사선불투과도 측정에 역시 알루미늄상응치를 이용한 바 있다. 이렇게 알루미늄상응치는 사진술간의 방사선불투과도 기준으로 사용되었다.

본 연구에서는 알루미늄상응치로 얻은 사진술의 유의한 상관관계를 바탕으로, 각 사진상의 측정치 비교를 통하여 transmission densitometer 방법과 디지털 방사선사진술로 치아색 수복물의 방사선불투과도를 비교하였다. 그 결과, 실험에 사용된 3종의 compomer와 4종의 유동성 레진 중 compomer인 Dyract® AP가 가장 높은 방사선불투과도를 나타내었고, 모든 수복물 공히 상아질과 유사하거나 높은 방사선불투과도를 나타내었다. 이 결과는 본 실험에 사용된 모든 수복재가 상아질의 방사선불투과도에 해당하는 2mm 두께의 알루미늄이 가지는 방사선불투과성보다 커야 한다고 규정한 ISO No.4049 기준[28]에 부합하는 것이라 볼 수 있다. 그리고 본 연구 결과 compomer인 Dyract® AP와 Compoglass®, 그리고 유동성 레진인 Tetric-flow®는 통상적인 방사선사진술 및 CD-Dent 디지털 방사선사진술에서 공히 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었고, compomer인 Dyract flow®는 통상적인 방사선사진술에서만 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었다. 본 연구에서 compomer들이 유동성레진들에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었는데, 이는 compomer 내에는 filler의 함량이 70% 정도로 일반적인 수복용 복합레진의 경우와 유사한데 비해 유동성레진의 경우에는 유동성을 증가시키기 위해 filler의 함량을 40~50% 정도로 낮춘 데서 그 이유를 찾을 수 있을 것이다. 그리고 대부분의 유동성레진은 상대적으로 낮은 방사선불투과도를 나타낸 반면 Tetric-flow®만은 높은 방사선불투과도를 나타내었는데, 이는 Tetric-flow®내에 다른 유동성레진과는 달리 70의 높은 원자번호를 가지는 원소인 ytterbium trifluoride가 filler 성분 중에 포함되었기 때문으로 생각된다. Ytterbium trifluoride는 복합레진을 약화시키지 않으면서 불소를 방출하여 이차우식을 예방하기 위한 목적으로 사용되는 것으로 높은 방사선불투과성을 나타내는 원소중의 하나이다. 그리고 이들 수복재가 방사선사진술에 따라 유의성에 다소 차이를 가지기는 하나 법랑질보다 높은 방사선불투과도를 나타낸 점은 이들 수복재를 2급 와동에 적용시 이차우식 진단이 용이할 것이라는 점을 보여주는 것이다[30,31].

본 연구에서는 2종의 디지털 방사선사진술 모두에서 방사선불투과도 측정에 관한 유용성을 평가해 보고자 하였으므로 분석 프로그램 자체에서 광학밀도 수치를 나타내는 CD-Dent(Di-Gi Dent, Israel)와 분석 프로그램 자체에서는 광학밀도 수치를 바로 나타내 주지 않는 RVG®(Trophy, France)를 함께 연구 대상으로 하였다. 수복물의 방사선불투과도 측정 과정에서, 통상적인 방사선사진술의 경우에는 자동 현상된 필름을 transmission densitometer에 적용하고 측정부위를 지정하면 즉시 광학밀도가 기기에 표시되어 나타났고, 디지털 방사선사진술 중 phosphor scanning system인 CD-Dent(Di-Gi Dent, Israel)의 경우에는 컴퓨터 모니터 상에 나타난 수복물 내 지정하는 부위의 광학밀도가 곡선과 함께 곧바로 수치로 표시되어 나타났다. 그러나 디지털 방사선사진술 중 CCD system인 RVG® (Trophy, France)의 경우에는 수복물 내 지정하는 부위의 광학밀도가 수치로 표시되어 나타나지 않고 곡선으로만 나타났다. 따라서 이 기기의 경우에는 해당 부위의 광학밀도를 읽기 위하여 크게 구분되어 표시되어 있는 광학밀도 수치와 곡선의 해당부위사이의 화면상의 거리를 3명의 검사자로 하여금 각기 측정하게 한 후 이를 환산, 평균하여 해당 부위의 광학밀도로 하였다. 그러므로 RVG®(Trophy, France)의 경우에는 CD-Dent(Di-Gi Dent, Israel)의 경우에 비해 광학밀도 측정치의 정확성이 떨어진다고 볼 수 있다. 본 연구에서 사진술 별로 본 방사선불투과도의 유의성에 있어서, RVG® 디지털 방사선사진술이 통상적인 방사선사진술 및 CD-Dent 디지털 방사선사진술에 비해 적은 경우에서 수복재간 차이를 보여주었는데 이것은 이러한 이유 때문인 것으로 생각된다. 그리고 기기의 경우 측정치를 바로 화면에 나타내 주지 않으므로 CD-Dent(Di-Gi Dent, Israel)의 경우에 비해 방사선불투과도 측정과정이 복잡하다고 할 수 있다.

Cook[21] 은 방사선 필름 종류, filtration, 방사선 흡수량, 그리고 kvp 등이 방사선불투과성에 미치는 영향을 연구한 결과 kvp의 변화가 방사선불투과성에 가장 큰 영향을 미친다고 보고하였으며, 그 이유는 복합레진 내에 방사선불투과성을 위해 포함시키는 filler인 barium, strontium의 방사선 흡수 특성이 다르기 때문이라고 보고하였다. 이에 본 연구에서는 통상적인 방사선사진술을 위해 이들 filler의 방사선 흡수에너지가 급격히 변하는 범위를 피하여 70kvp 및 8mA의 조건 하에서 노출시간 0.2초 동안 방사선을 노출하였다.

본 연구에서는 통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상에서는 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정하였고, 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서는 각 제품에서 공급되는 프로그램을 이용한 CADIA로 불투과도를 측정하였다. 그러나 통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상을 스캐너를 이용하여 컴퓨터에 입력하면 CADIA로 불투과도를 측정할 수 있고, 디지털 방사선사진술로 얻은 상을 필름화시키면 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정할 수도 있을 것이다. 그러나 본 연구에서 평가하고자 한 것은 각 방식에 연결되어 있는 방법을 사용한 경우이므로 앞에서 가정한 방식의 측정법은 과정상 복잡하고 까다로와서 일상적으로 사용하기에는 부적절하다고 여겨지므로 이에 관한 평가는 하지 않았다.

치아색 수복물의 색상에 따른 방사선불투과성에 관해, Marouf와 Sidhu[10] 은 resin-modified glass ionomer의 각기 다른 색상간의 방사선불투과성을 측정, 비교한 바 있는데, 색상간에는 방사선불투과성에 있어 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다고 보고하였다. 본 연구에서는 모두 통상적으로 사용되는 universal shade의 수복재만을 사용하였고 동일재료 내 서로 다른 색상간의 방사선불투과성은 비교하지 않았다.

이상을 고찰해 볼 때, 본 연구에 사용된 2종의 디지털 방사선사진술은 수복물의 방사선불투과성 비교에 적절하게 이용될 수 있다고 여겨지고, 이들 술식을 이용하여 수종의 치아색 수복물의 방사선불투과성을 측정, 비교한 바, 본 연구에 사용된 compomer 및 유동성 레진 모두 상아질보다 큰 방사선불투과성을 나타내는 것으로 보인다. 그리고 디지털 방사선사진의 보편화를 위해 앞으로 수복물을 포함한 치과용 재료의 방사선불투과성에 관해 디지털 방사선사진에서의 규격 표준화에 관한 연구가 계속되어야 할 것으로 보인다.

V. 요 약

본 연구에서는 이종의 디지털 방사선사진술이 수복물의 방사선불투과성 비교에 적절하게 이용될 수 있는지의 여부를 평가하고, 이 기법을 이용하여 수종의 compomer 및 유동성 레진의 방사선불투과도를 측정, 비교하고자 하였다.

Aluminum step wedge를 방사선사진촬영하여 기존의 transmission densitometer와 CD-Dent (phosphor scanning system) 및 RVG® (CCD system) 등 두 종류의 디지털 방사선사진술과의 광학밀도 상관관계를 평가하였고, 두께 2mm, 지름 5mm인 원형의 금속주형을 이용하여 Dyract® AP, Compoglass® 및 Dyract flow® 등 3종의 compomer와 Ultraseal-XT® *plus*™, Revolution™, Aeliteflo™ 및 Tetric-flow® 등 4종의 유동성 레진의 시편을 각각 5개씩 제작후 방사선불투과성을 측정하고 비교, 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Aluminum step wedge를 사용한 광학밀도 측정곡선을 비교한 바, 통상적인 방사선사진술로 얻은 필름의 상에서 transmission densitometer로 방사선불투과도를 측정한 곡선과 CD-Dent 및 RVG® 등 디지털 방사선사진술로 얻은 상에서 CADIA로 불투과도를 측정한 곡선들 사이에서 각각 매우 높은 역상관관계가 나타났다($\gamma = -0.95$, $\gamma = -0.98$; $p<0.05$).
2. 모든 수복재 공히 상아질과 유사하거나 높은 방사선불투과도를 나타내었고($p<0.05$), compomer인 Dyract® AP와 Compoglass®, 그리고 유동성 레진인 Tetric-flow®는 통상적인 방사선사진술 및 2종의 디지털 방사선사진술에서 공히 유동성 레진인 Revolution™과 Aeliteflo™, 그리고 상아질에 비해 유의하게 높은 방사선불투과도를 나타내었다($p<0.05$).
3. Compomer인 Dyract® AP와 Compoglass®, 그리고 유동성 레진인 Tetric-flow®는 통상적인 방사선사진술 및 CD-Dent 디지털 방사선사진술에서 공히 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었고($p<0.05$), compomer인 Dyract flow®는 통상적인 방사선사진술에서만 법랑질에 비해 높은 방사선불투과도를 나타내었다($p<0.05$).

참 고 문 헌

1. 김성교: 근관치료를 위한 디지털방사선사진의 이용, 치과계, 14 (4): 40-43, 1999.
2. Price, C., and Ergül, N.: A comparison of a film and a direct digital dental radiographic system using a proximal caries model, Dentomaxillofac. Radiol.., 26: 45-52, 1997.
3. Hildebolt, C. F., Flectcher, G., Yokoyama-Crothers, N., Conover, G. L., and Vannier, M. W.: A comparison of the response of storage phosphor and film radiography to small variation in X-ray exposure, Dentomaxillofac. Radiol.., 26:147-151, 1997.
4. Wenzel, A.: Digital radiography and caries diagnosis, Dentomaxillofac. Radiol., 27:3-11, 1998.
5. White, S. C., and Yoon, D. C.: Comparative performance of digital and conventional images for detecting proximal surface caries, Dentomaxillofac. Radiol., 26:32-38, 1997.
6. 김성교: 근관치료의 방사선 촬영, 근관치료학: 윤수한 외 공저, 덴

티북, (1996) p. 153-180.
7. Schoenfeld, C. M., Lautenschlager, E. P., Moore, B. K., and Rechtien, J. J.: Computerized prediction of optical density for diagnostic radiology, J. Dent. Res., 56:1085-1092, 1977.
8. Eliasson, S. T., and Haasken, B.: Radiopacity of impression materials, Oral Surg., 47:485-491, 1979.
9. Prévost, A. P., Forest, D, and Tanguay, R.: Radiopacity of glass ionomer dental materials, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.., 70:231-235, 1990.
10. Marouf, N., and Sidhu, S. K.: A study of radiopacity of different shades of resin-modified glass-ionomer restorative materials, Oper. Dent., 23:10-14, 1998.
11. Sidhu, S. K., Shah, P. M. M., Chong, B. S., and Pitt Ford, T. R.: Radiopacity of resin-modified glass-ionomer restorative cements, Quint. Int., 27:639-643, 1996.
12. Pritesh, M., Shah, M., and Chong, B. S.: Radiopacity of potential root-end filling materials, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod., 81:476-9, 1996.
13. 배광식, 엄정문: 근관충전용 시멘트의 방사선불투과성에 관한 연구. 대한치과보존학회지, 18:133-143, 1993.
14. 임영일, 엄정문, 이정식, 권혁춘: 치과용 glass polyalkenoate cement의 방사선불투과성에 관한 비교연구. 대한치과보존학회지, 22:464-469, 1997.
15. Akerboom, H. B. M., Kreulen, C. M., van Amerongen, W. E., and Mol, A.: Radiopacity of posterior composite resins, composite resin luting cements, and glass ionomer lining cements. J. Prosthet. Dent., 70:351-5, 1993.
16. Katz, A., Kaffe, I., and Littner, M.: Densitometric measurement of radiopacity of gutta-percha cones and root dentin, J. Endodont., 16:211-13, 1990.
17. Gürdal, P., and Akdeniz: Comparison of two methods for radiometric evaluation of resin-based restorative materials, Dentomaxillofac. Rad., 27:236-239, 1998.
18. Brägger, U.: Computer-assisted densitometric image analysis in periodontal radiography, J. Clin. Periodontol., 15:27-37, 1988.
19. Møystad, A., Svanaes, D. B., Risnes, S., Larheim, T. A., and Gröndahl, H. G.: Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film, Dentomaxillofac. Radiol., 25:202-206, 1996.
20. Boksman, L., Suzuki, M, Jordan, R. E., and Charles, D. H.: A visible light cured posterior composite resin: results of a 3-year clinical evaluation, J. Am. Dent. Assoc., 112:627-631, 1996.
21. Cook, W. D.: An investigation of the radiopacity of composite restorative materials, Aus. Dent. J., 26:105-112, 1981.
22. Bowen, R. L., and Cleek, G. W.: A new series of X-ray opaque reinforcing fillers for composite resin, J. Dent. Res., 51:177-82, 1972.
23. Taira, M., Toyooka, H., Miyawaki, H., and Yamaki, M.: Studies on radiopaque composites containing ZrO_2-SiO_2 fillers prepared by the sol-gel process, Dent. Mater., 9:167-171, 1993.
24. Curtis, P. M. Jr., von Fraunhofer, A., and Farman, A. G.: The radiographic density of composite restorative resins, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 70:226-230, 1990.
25. Abou-Tabl, Z. M., Tidy, D. C., and Combe, E. C.: Radiopacity of composite restorative materials, Brit. Dent. J., 147:187-188, 1979.
26. Stanford, C. M., Knoeppel, R., Fan, P. L., Stanford, J. W., and Schoenfeld, C. M.: Radiopacity of light-cured posterior composite resins, J. Am. Dent. Assoc., 115: 722-724, 1987.
27. Willems, G., and Noack, M. J.: Radiopacity of composites compared with human enamel and dentine, J. Dent., 19:362-365, 1991.
28. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION(1988) *ISO Standard 4049:Dentistry-Resin-based Filling Materials 7.11.1-4 Geneva*, Switzerland: International Organization for Standardization.
29. Goshima, T., and Goshima, Y.: Optimum radiopacity of composite inlay materials and cements, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 72:257-60, 1991.
30. Tveit, A. B., and Espelid, I.: Radiographic diagnosis of caries and marginal defects in connection with radiopaque composite fillings, Dent. Mater., 2:159-162, 1986.
31. 김병현, 이정식, 엄정문: 구치부 복합레진의 적정 radiopacity에 관한 연구, 대한치과보존학회지., 17:206-212, 1992.
32. Espelid, I., and Tveit, A. B.: Radiopacity of restorations and detection of secondary caries, Dent. Mater., 7:114-117, 1991.
33. Goshima, T.,and Goshima Y: Radiographic detection of recurrent carious lesions associated with composite restoration, Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol., 70:236-239, 1990.
34. Attin, T., Vataschki, M., and Hellwig, E.: Properties of resin-modified glass-ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials, Quint. Int., 27:203-9, 1996.
35. Bouschlicher, M. R., Cobb D. S., and Boyer, D. B.: Radiopacity of compomers, flowable and conventional resin composites for posterior restorations, Oper. Dent., 24:20-25, 1999.
36. Feilzer, A. J., De Gee, A. J., and Davidson, C. L.: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration, J. Dent. Res., 66:1636-1639, 1987.
37. Carvalho, R. M., Pereira, J. C., Yoshiyama, M., and Pashley, D. H.: A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief, Oper. Dent., 21:17-24, 1996.
38. Nelvig, P., Wing, K., and Welander, U.: Sens-A-Ray: a new system for direct digital intraoral rediography, Oral Surg., Oral Med., Oral Pathol., 74: 818-823, 1992.
39. Sanderink, G. C. H., Huiskens, R., van der Stelt, P. F. et al.: Image quality of direct intraoral x-ray sensors in assessing root canal length, Oral Surg., Oral Med., Oral Pathol., 78: 125-132, 1994.
40. Vandre, R. H., Pajak, J. C., Farman, T., and Farman, A. G.: Comparison of digital radiographic systems and film in the evaluation of endodontic instrument placement. Presented at the 5th Symposium on Digital Imaging in Dental Radiology, 1998, Amsterdam, The Netherlands.
41. Sullivan, J. E., Di Fiore, P. M., and Koerber, A.: RadioVioGraphy in the detection of periapical lesions, J. Endodont., 26: 32-35, 2000.
42. Murchinson, D. F., Charlton, D. G., and Moore, W. S.: Comparative radiopacity of flowable resin composites, Quint. Int., 30:179-184, 1999.