

3차원 재구성법을 이용한 수복물의 정량적 미세누출도 측정

하상윤 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

NEW QUANTITATIVE MEASURING TECHNIQUE FOR MICROLEAKAGE OF THE RESTORED TOOTH THROUGH 3D RECONSTRUCTION

Sang-Yoon Ha, Dong-Hoon Shin*

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

Established microleakage tests have their own disadvantages. In this study, 3D reconstruction method was tried to overcome these disadvantages.

Four types of microleakage tests were used and relationships among them were estimated: penetrated dye volume; marginal adaptability; degree of dye penetration and relative penetrated length to cavity wall.

Twenty-four Class V cavities were bulk filled with composite (Esthet X) following surface treatments: N group (no treatment); E group (etching only); T group (etching + Prime & Bond NT). 50% silver nitrate was used as a dye solution after thermocycling (5°C & 55°C, 1,000 times). Teeth were serially ground with a thickness of 0.2 mm. Volume of dye penetration was estimated from a three-dimensionally reconstructed image with a software (3D-DOCTOR). Percentage of margin without gap was estimated from SEM and degree of dye penetration and the relative length of dye penetration to overall cavity wall were also estimated.

ANOVA and Scheffe test for dye volume, Kruskal-Wallis and Mann-Whitney test for marginal quality, Spearman's rho test for checking of relationships among methods were used.

The results were as follows:

1. Dye penetration could be seen from several directions, furthermore, its volumetric estimation was possible.
2. Reverse relationship was found between dye volume and marginal quality ($r = -0.881 / p = 0.004$).
3. Very low relationship was seen between dye volume and two-dimensional tests (degree of dye penetration and relative length). However, 2D evaluation methods showed high relationship ($p = 0.002-0.054$) each other.
4. Three times vertical section could be recommended as a 2D test.

[J Kor Acad Cons Dent 29(5):413-422, 2004]

Key words : Microleakage, 3D reconstruction, Marginal adaptability, Silver nitrate, Thermocycling, SEM

* Corresponding author: Dong-Hoon Shin

Department of Conservative Dentistry,
School of Dentistry, Dankook University
San 7-1, Shinbu-dong, Cheonan, ChungNam, Korea, 330-716
Tel : 82-41-550-1965 Fax : 82-41-550-1963
E-mail: donyshin@dku.edu

I. 서 론

수복물의 내구성은 수복재의 치질에 대한 접착력과 변연부의 미세누출도에 의해 좌우된다. 특히 변연을 통한 미세누출은 술후 과민증, 세균 및 이물질 침투에 따른 치수 자극, 2차 우식증 유발 등 다양한 문제를 일으키므로, 새로운

수복재를 개발할 때에는 기존 물질과의 미세누출도를 항시 비교, 평가하고 있을 정도로 미세누출도의 정확한 평가는 필수 불가결한 기초 연구다.

이러한 수복물의 미세누출도 평가에는 색소 침투법¹⁾, 미생물 침투법²⁾, 자가방사법³⁾, 주사전자 현미경을 이용한 변연적합도 평가법⁴⁾, 유체이동 측정법⁵⁾, 전기화학적 분석법⁶⁾ 등이 이용되고 있다. 이 중 색소 침투법에 대해, Iwami 등⁷⁾은 색소의 입자들이 (0.12 μm) 대표적인 박테리아 (0.5-1.0 μm)나 상아세관의 내면 직경 (1-4 μm) 보다 작아 이러한 결과들을 실제 임상에 도입하기에는 무리가 있다고 한 바도 있지만, 편의성과 색소 침투 양상을 알 수 있다는 장점 등으로 인해 그동안 가장 많이 사용되어 왔다.

많이 사용되어 왔던 기존 색소들은 basic fuchsin과 methylene blue, silver nitrate를 들 수 있다. Basic fuchsin의 경우, 0.1-5%⁸⁻¹²⁾를 사용한 바 있으며, Methylene blue의 경우에는 Hatibovic-Kofman 등¹³⁾은 1%를, Kazemi와 Spanberg¹⁴⁾는 2%를 사용한 바 있다. Silver nitrate의 경우에는 Grande 등¹⁵⁾이 50%를 사용하였으며 Wibowo와 Stockton¹⁶⁾은 silver nitrate는 수복물로는 침투되지 않고 상아질을 통한 침투만 일어난다 하였다.

색소를 침투시켜 미세누출도를 평가하는 방법은 치아 수복 후 색소에 담귀 수복물과 치질 사이의 변연부를 통해 치질로의 색소 침투를 유발시킨 다음, 그 정도를 평가하는 방법으로 수복된 부위를 종단하여 색소가 침투된 정도나 길이를 측정하는 방법이 있지만, 이는 종단 부위의 2차원 측정으로 정량적 평가가 불가능하며 종단 횡수에 따른 차이도 있을 수 있지만 이에 대한 논의는 거의 없었다. 또 다른 정량적 분석 방법은 치질을 강산으로 녹여 얻어진 색소의 농도를 분광 분석기를 이용하여 흡광도를 측정하는 방법이지만, 이는 시간이 많이 소요되며 치질을 용해해야 하고, 색소가 침투된 부위를 알 수 없다는 단점이 있다. 이에 본 연구에서는 색소 침투된 양상을 치아 및 수복물과 함께 3차원으로 재구성하여 정량 분석 및 침투 부위의 판별이 가능한지를 파악하였다.

이러한 3차원 재구성법은 Arnold 등¹⁷⁾이 유구치의 인접면 우식부를 재구성하여 법랑질 탈회 지수 (enamel demineralization index)와 법랑질-상아질 탈회 지수를 측정한 바 있으며, Mikrogeorgis 등¹⁸⁾은 6개 기형 치아의 내부 및 외부 구조 연구에 이용한 바 있고, Jacobs 등¹⁹⁾도 매식물 수술시 3차원 설계 시스템을 이용하여 수술을 하기 전에 매식물의 위치를 결정하는 데 사용한 바 있다. 국내에서는 정과신²⁰⁾이 본 연구와 같은 연마면을 이용한 3차원 재구성을 통해 30개의 C자형 치근형태를 보이는 치아의 근관형태에 대해 보고한 바 있다.

한편, 미세누출도와 연관된 3차원 재구성법으로는 Veis

등²¹⁾이 충전된 근관의 미세누출도를 면적으로 분석 (areametric analysis)하여, 색소가 침투된 양과 형태를 측정한 바 있으며, Gale 등²²⁾은 본 연구에 사용된 방법과 유사한 연속적인 연마를 통해 얻어진 단면상들을 이용하여 미세누출 양태를 단순하게 3차원적으로 재구성한 바 있다.

이에 본 연구에서는 색소를 이용한 기존 미세누출도 측정법들의 단점을 극복하기 위해, 색소가 침투된 수복물과 치아를 3차원으로 재구성한 다음, 침투된 색소의 양을 3차원으로 판별하여 미세누출도를 정량적으로 평가하였다. 또한 이러한 3차원적 평가와 미세누출도를 측정할 때 사용되어 왔던 기존 방법들과의 상관관계를 파악하기 위해 각 변연부의 접착양태를 주사전자 현미경으로 관찰하여 그 관계를 평가하였으며, 종단면을 통한 색소 침투도/침투율 측정과의 유의성 여부도 검정하였다. 이외에도 종단 횡수에 따른 미세누출도 측정 결과의 차이가 있는지를 검정하여 최소의 종단 횡수를 추론하였다.

II. 연구재료 및 방법

24개의 건전한 대구치 치경부에 5급 와동을 형성한 후, 3개 군으로 나누어 치면 처리를 한 다음 (Table 1), Micro matrix 복합레진인 A1 색상의 Esthet-X (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA)로 충전하였다.

고속의 330번 버를 이용하여 발거된 건전한 대구치의 협면에 백악법랑 경계를 중심으로 $4 \times 3 \times 1.5 \text{ mm}$ 의 5급 와동을 형성한 다음, 3개 군으로 나누어 치면을 처리하였으며 (Table 1), 각 군당 8개씩 시편을 제작하였다.

치면 처리는 N군에서는, 아무런 처리 없이 와동을 수세 및 건조하였으며, E군에서는 산부식제 (Etchant 37, Vericom Co., Suwon, Korea)로 모든 치면을 15초간 처리한 다음 20초 동안 수세하였다. 이후 2~3초간 공기 건조 하되 약간의 습기가 유지되게 하였다. T군에서는 E군과 같은 산부식 및 수세, 건조한 후 Prime & Bond NT (Dentsply Caulk, Milford DE, USA)를 술에 발라 와벽에 도포하고 20초간 방치한 다음, 부드러운 공기로 5초간 불어 과도한 양의 용제 (solvent)를 제거하였다. 이후 일정한 광택면이 얻어진 다음 10초간 광중합하였다. 위와 같은 방법으로 치면을 처리한 다음, 복합레진을 한번에 단일 충전하고 광중합기 (XL 2500, 3M, St. Paul, MN, USA)를 이용하여 600 mW/cm^2 의 광도로 40초간 중합시켰다.

수복물의 경화를 위해 모든 시편을 실온에서 1일간 식염수에 보관한 다음, Sof-Lex disc (3M, St. Paul, MN, USA)로 연마한 후, 온도 변화에 따른 변연누출을 유도하기 위해 각기 섭씨 5℃와 55℃의 온도에서 침적 시간을 30초로 하여 1,000회의 온도 변화를 주었다.

Table 1. Surface treatments

Group Code	Surface treatment	Restoration
N	No treatment	Wash and dry → Bulk filling
E	Etching only	Etching for 15 seconds → Wash and dry → Bulk filling
T	Etching + One-bottle system	Etching for 15 seconds → Wash and dry → One-bottle system (Prime & Bond NT) → Bulk filling

1) 주사전자 현미경 관찰을 통한 변연적합도 평가
수복물과 치면 사이의 적합도 평가를 위한 주사전자 현미경 (JSM-5200, JEOL, Tokyo, Japan) 관찰을 위해 vinyl polysiloxane 인상재 (Aquasil, Dentsply Caulk, Milford, DE, USA)로 수복물을 인상 채득한 다음, polyurethane die (MODRALIT-3K, DREVE-DEN-TAMID-GMBH, Germany)를 이용하여 resin replica를 제작하였다. 35배의 배율로 수복물 주변을 4 내지 6회로 나누어 영상을 채득한 다음, Photoshop 프로그램 (ver. 6.0, Adobe Systems Inc., San Jose, CA, USA)을 이용하여 변연부 전체를 볼 수 있는 하나의 영상으로 조합하였다. 이후 1,000배의 배율로 변연적합도가 적절한 (수복물과 치질 사이의 틈새가 없는) 부위를 측정하여 수복물 전체 둘레에 대한 백분율로 표시하였다 (Figure 1).

2) 3차원 색소 침투량 측정

온도변화를 마친 수복물 주변 1 mm를 제외한 모든 치면에 nail varnish를 2회 도포한 다음 건조시켰다. 50% silver nitrate 용액에 10시간 동안 치아가 완전히 잠긴 상태로 담근 다음, 수세하고 증류수에 침전시킨 상태에서 10시간 형광 조사한 후 현상액 (DS-30, DELF KOREA PHOTO-CHEMICAL Co., Ltd., Ansan, Korea)에 2시간 침전시키고 이후 수세 및 건조시켰다. Nail varnish를 제거한 다음, 치아를 자가중합형 레진 (Orthodontic Resin, Dentsply Caulk, Milford DE, USA)에 포매하였다.

포매된 시편을 Accutom-50 (Struers, 2750 Ballerup, Denmark)에 고정시켜 0.2 mm 간격으로 연마되도록 조작한 다음, 각각의 연마된 영상들을 일정한 위치에 고정시킨 디지털 카메라 (Fuji FinePix S1-Pro, Fujifilm, Tokyo, Japan)로 입력하였다. Photoshop 6.0 프로그램에서 필요한 부분만을 절취하여 색소가 침투된 부분을 표시한 다음,

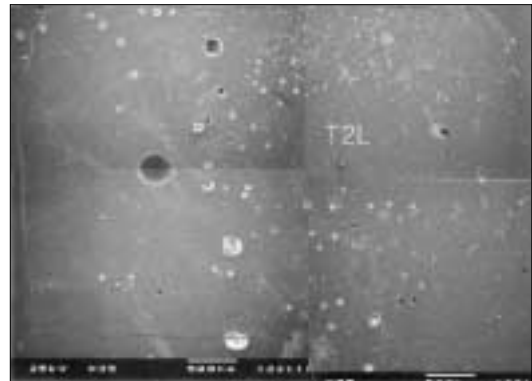


Figure 1. Marginal adaptation from SEM evaluation: Percentage of gap-free margin (A; red) to cavity perimeter (B; blue) (SEM image; × 35)

컬러 영상을 흑백 영상으로 변환하여 .JPEG 파일로 저장하였다.

3D-DOCTOR (Able Software Co., Lexington, MA, USA) 프로그램을 이용하여 하나의 치아에서 얻어진 일련의 단면상들을 모아 .lst 파일로 저장한 다음 (Figure 2), 치아, 수복물, 색소침투 부위의 경계선을 각기 다른 색으로 표시하여 수복된 치아의 3차원상을 얻었다 (Figure 3). 이후 색소가 침투된 체적을 cubic voxel 단위로 평가하였다.

3) 색소침투도 및 침투율 평가

2차원적인 색소침투도 및 색소 침투율 관찰은 기존 변연 누출 평가에 있어 많이 사용되고 있는 비교법으로 색소침투율은 단면의 외벽 길이에 대한 색소가 침투된 길이를 백분율로 표시하였으며 (Figure 4), 색소침투도는 색소 침투가 없을 경우 0, 치은/교합면 외벽의 1/2까지 침투된 경우는 1, 치은/교합면 외벽의 1/2을 넘어 측벽 전까지인 경우

에는 2, 측벽까지 침투한 경우에는 3으로 판정하였다 (Figure 5).

종단면 수에 따른 색소침투도 및 침투율 평가를 위해 각 수복물의 중앙부를 기점으로 1회 종단, 3회, 5회, 7회, 9회 종단한 5개 군으로 가정하였다. 즉, 3차원 재구성을 위해 만든 .lst 파일에 있는 단면상들에서 수복물이 보이기 시작하여 없어지는 부분까지의 단면수를 확인한 다음, 각 군에 해당되는 단면들의 침투도와 침투율을 구한 뒤 이들의 평균 값을 각 군의 침투도와 침투율로 결정하였다. 예를 들어, 수복물이 단면 3에서 27까지 보였다면, 1회 종단은 단면 15의 값을 대표로 하였고 3회 종단시에는 단면 9, 15, 21의 평균값을, 5회 종단시에는 단면 7, 11, 15, 19, 23의 평균값을 택하였다. 이 같은 방식으로 7회, 9회 종단한 군들의 색소침투도와 침투율을 측정 한 다음, 3차원으로 측정된 색소 침투량 및 변연적합도와의 상관관계를 평가하였으며, 중

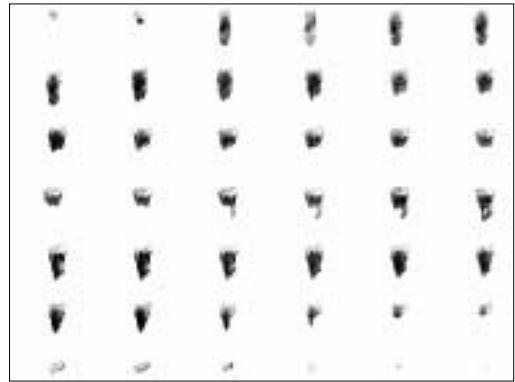


Figure 2. Montage view showing serial cross-sectioned images

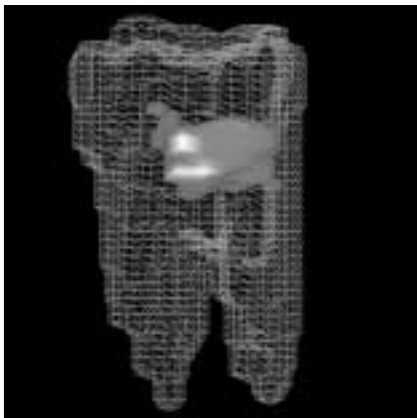


Figure 3. Three-dimensionally reconstructed restored tooth

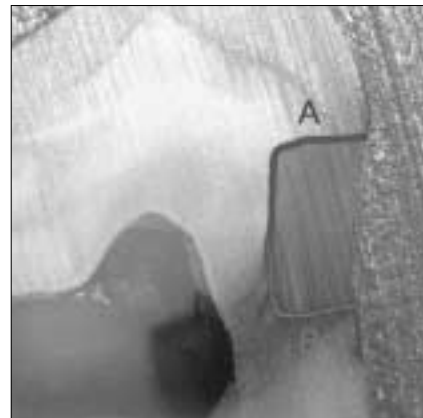


Figure 4. Evaluation criteria about percentage of dye penetration: Percentage of length of dye penetration (B; red) to overall cavity wall length (A; blue)

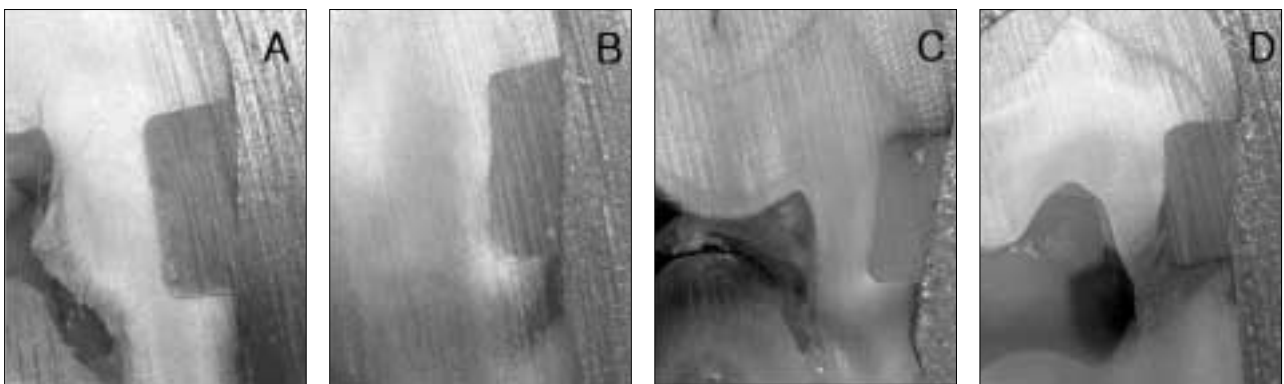


Figure 5. Evaluation criteria about degree of dye penetration: 0 - No dye penetration (A); 1 - Dye penetration less than half the length of the gingival or occlusal wall (B); 2 - Dye penetration up to the full length of the gingival or occlusal wall (C); 3 - Dye penetration along the axial wall (D)

단면의 수에 따른 차이를 분석하여 대표될 수 있는 최소의 종단면 수를 추정하였다.

4) 평가 및 통계 분석

통계분석에는 SPSS ver. 10.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)을 사용하였다. 치면처리 방법에 따른 3차원적 색소 침투량은 95% 유의수준의 One way ANOVA와 사후검정으로 Scheffe test를 이용하였으며, 변연적합도와 종단면의 수에 따른 차이는 비모수 통계법인 Kruskal-Wallis 및 Mann-Whitney test로 검정하였다. 또한 4가지 방법(3차원적 색소침투량, 변연적합도, 색소침투도, 색소침투율)간의 상관관계는 Spearman's rho test를 이용하여 검정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1) 주사전자 현미경 검경을 통한 변연적합도 분석

치아와 수복물 사이의 틈새가 없는 완벽한 변연부의 비율을 측정한 결과, N군이 $8.91 \pm 14.09\%$, E군이 $33.19 \pm 10.54\%$, T군이 $54.29 \pm 23.86\%$ 를 보였다 (Table 2). Kruskal-Wallis 및 Mann-Whitney U test 검정 결과, 전체 군간 유의차가 있었으며 ($p = 0.003$), N군은 E군 ($p = 0.011$)과 T군 ($p = 0.002$)에 대해 모두 유의한 차이를 보였지만 E군과 T군 사이에는 차이가 없었다 ($p = 0.093$).

2) 3차원 재구성에 의한 색소 침투량 분석

50% silver nitrate가 침투된 양태를 3차원으로 재구성한 각 군의 치아를 협/설면, 근/원심면에서 본 모습으로 여러 방면에서 색소가 침투된 부위를 관찰할 수 있었다. 아무런 처리를 하지 않은 N군이 가장 많은 침투 양태를 보였

으며 E군, T군의 순서로 침투가 적어짐을 볼 수 있다 (Figures 6-8). 또한 3개 군 모두 교합면측 변연부 보다 치은측 변연부에서 더 많은 침투가 되었음을 볼 수 있다.

Cubic voxel을 단위로 측정된 각 군의 색소 침투량은 Table 3과 같으며, N, E, T군의 순서로 침투량이 적었지만 ANOVA 검정 결과, N군과 T군 사이만이 유의한 차이를 보였다 ($p = 0.011$).

3) 색소 침투도 및 색소침투율 분석

종단 횡수에 따른 각 군의 색소침투도와 색소침투율은 Table 4 및 Table 5와 같다. N군의 경우 종단 횡수에 관계없이 모두 3도의 침투도를 보였으며, 침투율도 일부 단면을 제외한 거의 모든 부위에서 100%를 보였다. E군의 경우도 일부 단면을 제외하고는 거의 3도의 침투도를 보였으며, 침투율은 80%를 보였다. 이에 비해 T군은, 침투도 및 침투율에서 감소된 양상을 보였으며, 1~3도의 다양한 색소침투도와 40~50%의 침투율을 보였다.

4) 4가지 측정 방법 사이의 상관관계 분석

색소가 너무 많이 침투된 군들의 분석은 통계상의 오류를 만들 가능성이 높으며, 실제 임상에서도 제조회사의 지시를

Table 2. Percentage of perfect margin

Groups	Sample No.	Mean (S.D.)	
N	8	8.91 (14.09)	* **
E	8	33.19 (10.54)	
T	8	54.29 (23.86)	

*: $p < 0.05$ **: $p < 0.01$

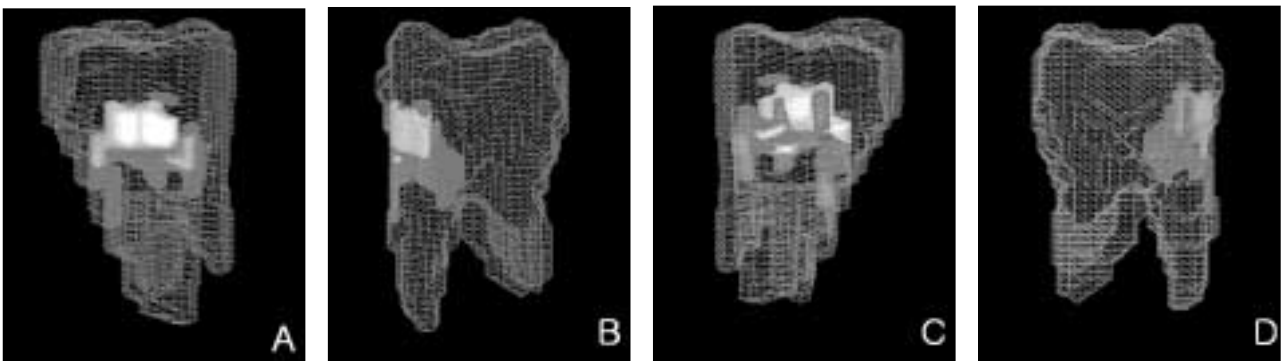


Figure 6. Three-dimensionally reconstructed tooth (group N): A; buccal view, B; mesial view, C; lingual view, D; distal view

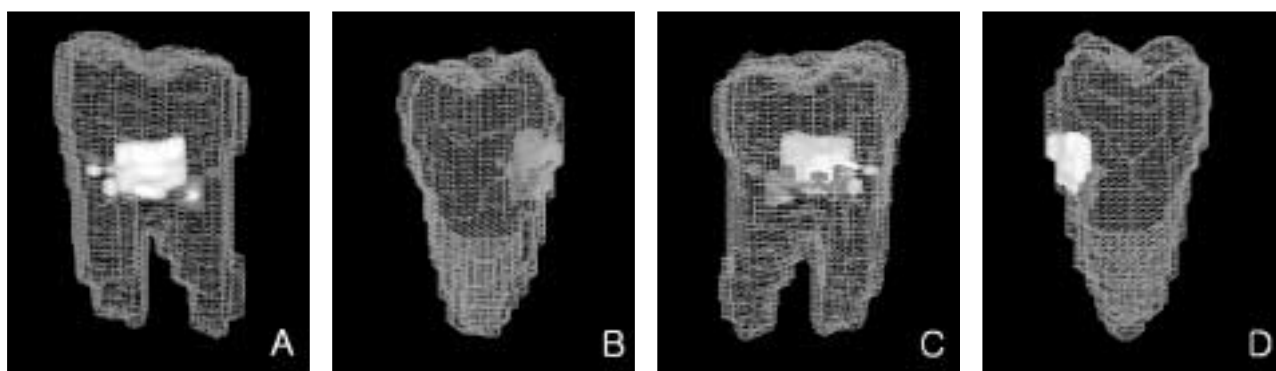


Figure 7. Three-dimensionally reconstructed tooth (group E): A; buccal view, B; mesial view, C; lingual view, D; distal view

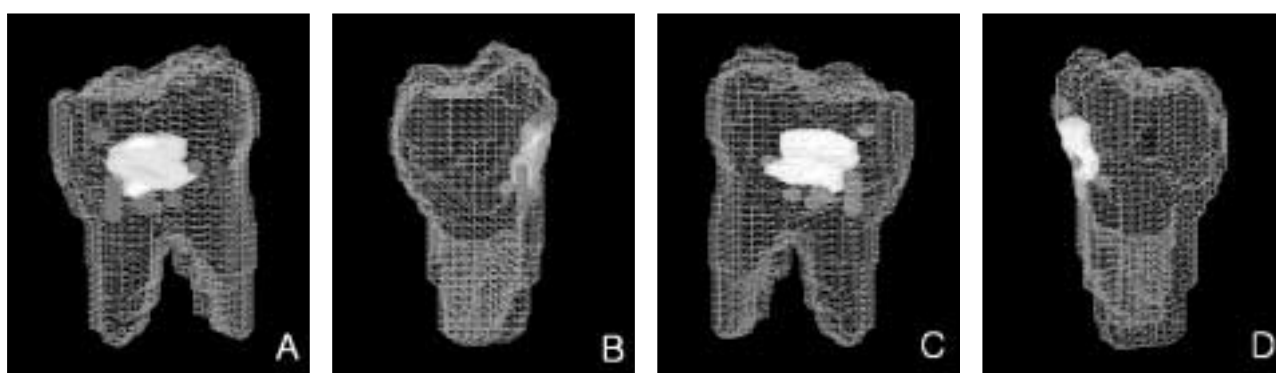


Figure 8. Three-dimensionally reconstructed tooth (group T): A; buccal view, B; mesial view, C; lingual view, D; distal view

Table 3. Volumetric microleakage (cubic voxels)

Groups	Sample No.	Mean (S.D.)
N	8	4,220,363 (1,642,980)
E	8	2,422,873 (1,959,873)
T	8	1,539,313 (1,045,755)

*

*: $p < 0.05$

Table 4. Mean degree of dye penetration according to number of vertical section

Group	Number of vertical section				
	1	3	5	7	9
N	3	3	3	3	3
E	3	3	2.98	2.97	2.97
T	2.38	2.42	2.38	2.41	2.36

Table 5. Mean relative length of dye penetration to an overall cavity wall according to number of vertical section (%)

Group	Number of vertical section				
	1	3	5	7	9
N	100	100	99.25	99.01	99.23
E	83.30	82.60	83.17	80.58	82.63
T	42.61	48.28	50.45	49.97	48.63

따른 T군 방식의 수복을 택하므로, T군만을 대상으로 분석하였다.

3차원 재구성에 의해 얻어진 침투된 색소의 양과 주사전 자현미경 검경에 의해 얻어진 변연적합도는 역비례의 높은 상관관계를 보였지만 ($r = -0.881$; $p = 0.004$), 2차원적인 측정법인 색소침투도와 색소침투율에 대한 상관성은 매우 낮았다. 그러나 색소침투도와 색소침투율 사이의 상관관계는 5회 종단을 제외하고는 ($r = 0.699$; $p = 0.054$) 매우 높았다 (Table 6).

Table 6. Correlation between evaluation methods

			Volumetric	Perfect margin	Degree dye	Length dye
Spearman's rho	Volumetric	Correlation Coefficient	1.000	-0.881**	0.096	0.476
		Sig. (2-tailed)	.	0.004	0.820	0.233
	Perfect margin	Correlation Coefficient	-0.881**	1.000	-0.024	-0.214
		Sig. (2-tailed)	0.004	.	0.955	0.610
	Degree dye	Correlation Coefficient	0.096	-0.024	1.000	0.699
		Sig. (2-tailed)	0.820	0.955	.	0.054
	Length dye	Correlation Coefficient	0.476	-0.214	0.699	1.000
		Sig. (2-tailed)	0.233	0.610	0.054	.

** : $p < 0.01$ **Table 7.** Degree of dye penetration according to number of vertical section

Number of vertical section	Sample No.	Degree Mean (S.D.)	Mean Rank
1	8	2.375 (0.744)	22.31
3	8	2.146 (0.667)	20.56
5	8	2.375 (0.713)	19.94
7	8	2.413 (0.648)	19.94
9	8	2.355 (0.693)	19.75

Table 8. Relative length of dye penetration according to number of vertical section (%)

Number of vertical section	Sample No.	Length (%) Mean (S.D.)	Mean Rank
1	8	42.61 (18.28)	18.13
3	8	48.28 (25.96)	20.00
5	8	50.45 (26.67)	22.13
7	8	49.65 (25.08)	20.88
9	8	48.64 (26.87)	21.38

5) 종단 횡수에 따른 색소침투도 및 색소침투율 분석

상관관계 분석과 같은 이유로 T군만을 대상으로 하였다. 종단 횡수에 따른 색소침투도는 Table 7과 같으며, 각 군간의 유의한 차이는 없었다 ($p = 0.992$). 그러나 Kruskal-Wallis test 결과, 평균 순위를 보면 종단 횡수 3, 5, 7회가 중간 값을 보임을 알 수 있다.

색소침투율은 Table 8과 같으며, 이 역시 군간 유의한 차이는 없었다 ($p = 0.968$). 그러나 평균 순위를 보면, 종단 횡수 3, 7, 9회가 중간 값을 보임을 알 수 있다.

결과적으로, 2차원적인 관찰인 색소침투도와 색소침투율은 중앙부만을 종단하여 관찰한 결과나 수복물을 3, 5, 7, 9등분하여 종단한 결과가 유의한 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있으나, 보다 안정적인 결과를 얻으려면, 두 방법에서 공통적으로 중간 값을 보이는 3회 및 7회 종단이 바람직해 보이며, 이 중에서도 최소 종단 횡수인 3회 종단을 추천할 수 있을 것이다.

IV. 총괄 및 고안

수복물의 내구성을 좌우하는 미세누출은 다양한 원인에 의해 야기되며, 이러한 원인들로는 초기에 수복재가 와벽과 긴밀한 접착을 이루지 못하거나, 중합수축에 의해 수복재가 와벽에서 떨어져 나오는 현상, 치아와 수복재 사이의 열팽창 계수 및 탄성율의 차이, 합착제나 이장재, 기저재의 용해 등을 들 수 있다²³⁻²⁸⁾.

현재 사용되고 있는 어떠한 수복재도 이러한 미세누출을 완전히 없애지는 못했지만, 재료의 발달과 더불어 치질과의 접착력 개선 및 우수한 변연봉쇄성을 얻음으로써 미세누출도 상당히 줄어들었다. 미세누출도 측정 등으로 평가되고 있는 이러한 변연 봉쇄성은 수복재 뿐만 아니라, 접착시스템과의 상호 작용에 의해 얻어지며, 접착시스템에서는 치질과의 접착력이나 피착면의 퍼짐성 (wetting property), 용제의 성질, 취급의 용이성 등이 영향을 미치며, 수복재인 복합레진에서는 탄성계수, 수축량 및 열팽창 계수 등이 영

향을 준다고 알려져 있다⁴⁾.

기존 측정법 중 색소를 이용한 침투법이 가장 많이 사용되었지만, 2차원적인 평가만 가능하거나, 치아를 용해한 후 침투된 색소의 농도를 측정해야 하는 등의 단점을 갖고 있어 이를 극복하고자 Gale 등²⁴⁾의 방법과 유사한 3차원 재구성법을 시도하였다. 한편, 이러한 색소의 치질 침투력과 온도 변화에 따른 차이에 대해, Youngson 등²⁹⁾은 5% eosin, 2% methylene blue, 50% silver nitrate, buffered indian ink (pH 6.9-7.2)의 침투력에는 차이가 없다고 하여, 본 실험에서는 50%의 silver nitrate를 사용하였다. 또한 Hakimeh 등³⁰⁾은 온도 변화가 미세누출도에 커다란 영향을 미치지만 load cycling은 그렇지 아니하다 하여 본 실험에서는 섭씨 5도와 55도에서 1,000회의 온도변화를 부여하였다.

수복된 치아를 3차원으로 재구성한 결과, 치아 외부 및 내면 등 다양한 방향에서 색소가 침투된 양태를 관찰할 수 있었을 뿐 아니라, 체적을 측정할 수 있었다는 면에서 기존의 정량적 측정 방법인 강산을 이용하여 치질을 용해한 다음, 색소의 양을 측정하는 방법 보다 우수함을 알 수 있었다. 또한 치면 처리 여부에 관계없이 법랑질 변연이 상아질 변연에 비해 색소침투에 대한 저항성이 강하였는데, 이는 접착시스템을 사용하지 않은 상태에서도 복합레진 자체의 치질 접착력이 상아질 보다 법랑질에서 더 우수함을 말해주는 것이다. 이외에도 특히 T군에서 치질 내부로 갈수록, 색소침투가 적어짐을 볼 수 있었다. 이러한 이유에 대해 Gladys 등³¹⁾은 깊은 곳에서는 온도변화의 효과가 적고, 중합광의 강도가 약해져 복합레진의 중합속도가 느려지므로 이에 따라 수축응력을 해소할 수 있는 완충능력이 커지기 때문이라 하였다³²⁾.

그러나, 법랑질 변연부에서 색소침투가 적기는 하였지만, 완벽한 봉쇄는 없었다. 이는 법랑질 변연에 사면 (bevel)을 형성하지 않은 것도 한 가지 원인으로 보인다. Crime³³⁾은 사면형성은 피착면적을 늘려주고 수축응력을 치질로 분산 (dissipate)시켜줄 수 있다 하였으며, Hilton과 Ferracane³⁴⁾은 이러한 사면을 형성하지 않으면, 비가역적인 법랑질의 균열이 일어날 수 있고, 법랑소주의 끝 부분 보다 측면이 부식되기 때문에 변연 봉쇄성이 낮아진다고 하였다.

제조회사의 지시를 따른 T군의 경우, 기존 연구 결과와는 달리 많은 색소침투량을 보였는데, 이는 도말층을 완전 제거한 다음 습윤 접착 (moist bonding)을 위한 조건을 만들어 주는 방법이 매우 술식에 민감하다는 하나의 간접적인 증거가 될 수도 있다. 이외에도 앞서 언급한대로, 사면을 형성하지 않은 면도 있으며, 침투량을 늘리기 위해 적층 충전이 아닌, 단일 충전을 시행하는 등 각각의 실험 여건이 다를 수 있기 때문에 직접적인 비교는 어려워 보인다. 또한 비피착면에 대한 피착면의 비율인 와동의 C factor³⁵⁾도 미세누

출에 커다란 영향을 미친다는 보고들이 많이 있었다^{36,37)}. Asmussen과 Munksgaard³⁸⁾도 V자형 와동의 변연틈새는 4 μ m인데 비해 박스형태는 13 μ m으로 컸다고 하였다. 이처럼 C-factor가 커지면 수축응력이 커져 초기 치질과의 접착에 악영향을 미치는 것이다.

변연적합도의 경우, N군이 8.91 \pm 14.09 %, E군이 33.19 \pm 10.54 %, T군이 54.29 \pm 23.86 %로 3차원 색소침투량과 역비례의 높은 상관관계를 보였다 ($r = -0.881$; $p = 0.004$). 즉, 틈새가 많이 생겨 변연적합도가 떨어지는 실험군에서는 색소가 많이 침투되었다는 것을 의미하는 것으로, 이는 Santini와 Mitchell³⁹⁾이 보고한 틈새가 형성된 부위 (debonding area)에서 색소침투가 일어나며, 색소가 침투되지 않은 부위에는 틈새가 없었다는 결과에 의해 설명될 수 있다. 또한 이처럼 상관관계가 높다는 것은 하나의 연구 결과로 다른 부분을 유추할 수 있다는 것을 의미하며, 변연적합도를 측정하면 정확한 침투량을 측정할 수는 없지만, 어느 실험군에서 상대적으로 색소침투량이 더 많았는지를 알 수 있다는 것이다. 그러나 제조사의 지시대로 모든 치면 처리를 한 T군과 산부식만을 시행한 E군 사이에 차이가 있긴 하지만 통계적 유의차를 보이지 않았다는 것도 앞서 언급한대로 그만큼 습윤 접착 술식의 기술적 민감성을 의미하는 것이다.

각 군의 색소침투도와 색소침투율, 역시 제조회사의 지시를 따른 T군이 산부식만을 한 E군이나 치치를 하지 않은 N군에 비해 우수하였다. 그러나 T군이 색소침투도 및 침투율에서 감소된 양상을 보였으나, 1에서 3도의 침투도와 8.41-87.96 %의 비교적 높은 침투율을 보였다는 것 또한, 습윤 접착 술식의 기술적 민감성을 의미하는 것이다.

한편, 수복물의 중앙부만을 중단하여 색소침투 정도를 판단하는 방법은 수복물의 다른 부위 (embrasure)에서 일어난 색소침투를 간과할 수도 있다는 지적이 있었다⁴⁰⁾. 본 연구에서는 이 같은 점에 착안하여 중단 횟수에 따른 색소침투도 및 침투율의 차이가 있는지를 평가하기 위해 각 수복물의 중앙부를 기점으로 1회 중단, 3회, 5회, 7회, 9회 중단한 5개 군으로 가정하고 유의성 여부를 검정하였다. 연구결과, 이러한 우려와는 달리 색소침투도 및 침투율의 중단 횟수에 따른 유의한 차이는 보이지 않았지만, 보다 안정적인 결과를 얻기 위해서는, 두 가지 방법에서 공통적으로 중간 값을 보이는 3회 및 7회 중단이 바람직해 보이며, 이 중에서도 최소 중단 횟수인 3회 중단을 추천할 수 있었다.

본 연구에서 측정에 사용된 4가지 방법간의 상관관계를 비교했을 때, 3차원 재구성에 의해 얻어진 색소침투량과 주사전자현미경 검경에 의해 얻어진 변연적합도는 높은 상관관계를 보였지만, 중단 횟수와는 관계없이 2차원적인 측정법인 색소침투도와 색소침투율과는 상관성이 매우 낮았다는 것은 색소의 침투깊이와 침투량과는 서로 관계가 없다는

것을 의미하는 것이다. 그러나 색소침투도와 색소침투율간의 상관관계가 5회 종단을 제외하고는 ($r = 0.699$; $p = 0.054$), 매우 높은 것으로 보아 향후 같은 시편 분석에 있어 하나의 측정방법만을 택함으로써, 중복을 피할 수 있을 것으로 사료된다.

이처럼 본 연구에 사용된 3차원 재구성법은 미세누출도 측정에서 다양한 장점을 보였지만, 이러한 방법도 색소가 침투된 정도를 각 단면상에서 수작업으로 판정해야 하며, 치아를 연마해야 하는 파괴적인 방법이므로 이에 따른 평가의 오차가 있을 수도 있다. 이에 방사선 불투과성을 가진 질산은 용액을 이용하여 미세누출을 유도한 다음, XTM (X-ray microtomography)과 같은 기기를 이용하여 비파괴적으로 분석하는 방법과 같은, 다른 3차원으로 측정이 가능한 방법들도 고려해봐야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

수복물의 성공 여부를 평가하기 위해 다양한 방식의 미세누출 측정법들이 사용되어 왔지만, 나름대로 단점을 갖고 있다. 본 연구에서는 이러한 단점들을 극복하기 위해 복합 레진으로 수복된 치아를 3차원으로 재구성하여 침투된 색소의 양을 측정하는 새로운 방법을 시도하였다.

본 연구에서는 3차원 재구성에 의한 체적 평가법, 주사전 자현미경 검경을 통한 변연적합도와 기존 색소침투 측정법인 색소침투도와 색소침투율 측정의 네 가지 방법을 사용하였으며, 유의성 검정에는 3종의 통계방법이 사용되었다: 3차원 색소침투량은 ANOVA와 Scheffe test를, 변연적합도는 Kruskal-Wallis와 Mann-Whitney test를, 4가지 측정 방법간의 상관관계는 Spearman's rho test를 이용하여 다음과 같은 결과를 얻었다:

1. 3차원으로 평가된 수복물의 변연부를 통한 색소 침투는 상아질 변연부가 법랑질 변연부보다 많은 양태를 보였다. 또한 3차원 색소침투량 측정법을 이용하면 치아의 외면이나 내면을 포함한 여러 방향에서 색소가 침투된 부위를 관찰할 수 있었을 뿐만 아니라, 색소침투량의 3차원적인 체적 평가도 가능하였다.
2. 3차원 색소침투량과 변연적합도는 매우 높은 역비례의 상관관계를 보였다 ($r = -0.881$ / $p = 0.004$).
3. T 군의 경우, 종단 횡수에 관계없이, 색소침투량 및 변연적합도 측정법들과 2차원 측정인 색소침투도/색소침투율을 측정법들 상호간에는 상관관계가 매우 낮았다. 그러나 색소침투도와 색소침투율 사이에는 매우 높은 상관관계를 보였다 ($p = 0.002-0.054$).
4. 비록 색소침투도와 색소침투율이 종단 횡수에 따른 유의한 차이를 보이지 않았지만, 중간값의 평균 순위를 보인 3회 종단법을 최소 종단 횡수로 추천할 수 있다.

이상의 연구 결과를 토대로 볼 때, 변연적합도 측정을 통해 색소침투량의 많고 적음을 추론할 수 있지만, 2차원적 측정방법인 색소침투도나 색소침투율 측정과는 관계가 매우 낮아 추정이 불가능하였다. 또한 색소침투도나 색소침투율 측정시 최소 종단 횡수로는 3회 종단을 추천할 수 있다. 결론적으로, 본 연구에 사용된 새로운 3차원 재구성법은 양적인 미세누출도 평가에 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Saboia VP, Pimenta LA, Ambrosano GM. Effect of collagen removal on microleakage of resin composite restorations. *Oper Dent* 27(1):38-43, 2002.
2. Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJ. A comparison of MTA, Super-EBA, composite and amalgam as root end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J* 32:197-203, 1999.
3. Hembree JH, Andrew JT. Microleakage of several class V anterior restorative materials: a laboratory study. *J Am Dent Assoc* 97(2):179-183, 1978.
4. Manhart J, Chen HY, Mehl A, Weber K, Hickel R. Marginal quality and microleakage of adhesive class V restorations. *J Dent* 29(2):123-130, 2001.
5. Youngson CC, Jones JC, Fox K, Smith IS, Wood DJ, Gale M. A fluid filtration and clearing technique to assess microleakage associated with three dentine bonding systems. *J Dent* 27(3):223-233, 1999.
6. Von Fraunhofer JA, Adachi EI, Barnes DM, Romberg E. The effect of tooth preparation on microleakage behavior. *Oper Dent* 25(6):526-533, 2000.
7. Iwami Y, Yamamoto H, Ebisu S. A new electrical method for detecting marginal leakage of in vitro resin restorations. *J Dent* 28(4):241-247, 2000.
8. Uno S, Finger WJ, Fritz UB. Effect of cavity design on microleakage of resin-modified glass ionomer restorations. *Am J Dent* 10(1):32-35, 1997.
9. Estafan D, Pines MS, Erakin C, Fuerst PF. Microleakage of Class V restorations using two different compomer systems: an in vitro study. *J Clin Dent* 10(4):124-126, 1999.
10. Pilo R, Ben-Amar A. Comparison of microleakage for three one-bottle and three multiple-step dentin bonding agents. *J Prosthet Dent* 82(2):209-213, 1999.
11. Ziskind D, Avivi-Arber L, Haramati O, Hirschfeld Z. Amalgam alternatives-microleakage evaluation of clinical procedures. Part I: direct composite/composite inlay/ceramic inlay. *J Oral Rehabil* 25(6):443-447, 1998.
12. Baldissara P, Comin G, Martone F, Scotti R. Comparative study of the marginal microleakage of six cements in fixed provisional crowns. *J Prosthet Dent* 80(4):417-422, 1998.
13. Hatibovic-Kofman S, Wright GZ, Braverman I. Microleakage of sealants after conventional, bur, and air-abrasion preparation of pits and fissures. *Pediatr Dent* 20(3):173-176, 1998.
14. Kazemi RB, Spangberg LS. Effect of reduced air pressure on dye penetration in standardized voids. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 80(6):720-725, 1995.
15. Grande RH, Ballester R, Singer Jda M, Santos JF.

- Microleakage of a universal adhesive used as a fissure sealant. *Am J Dent* 11(3):109-113, 1998.
16. Wibowo G, Stockton L. Microleakage of class II composite restorations. *Am J Dent* 14(3):177-185, 2001.
17. Arnold WH, Gaengler P, Kalkutschke L. Three-dimensional reconstruction of approximal subsurface caries lesions in deciduous molars. *Clin Oral Investig* 2(4):174-179, 1998.
18. Mikrogeorgis G, Lyroutdia KL, Nikopoulos N, Pitas I, Molyvdas I, Lambrianidis TH. 3D computer-aided reconstruction of six teeth with morphological abnormalities. *Int Endod J* 32(2):88-93, 1999.
19. Jacobs R, Adriansens A, Verstreken K, Suetens P, van Steenberghe D. Predictability of a three-dimensional planning system for oral implant surgery. *Dentomaxillofac Radiol* 28(2):105-111, 1999.
20. Jung EH, Shin DH. Morphological analysis of C-shaped root using 3D reconstruction. *J Kor Acad Conserv Dent* 27(4):421-431, 2002.
21. Veis A, Lambrianides T, Nicolaou A. Area-metric analysis of dye leakage for evaluation of sealing ability of root canal obturation techniques. *Endod Dent Traumatol* 12(5):222-226, 1996.
22. Gale MS, Darvell BW, Cheung GS. Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 22(6):370-375, 1994.
23. Pashley DH, Depew DD. Effects of the smear layer, Copalite and oxalate on microleakage. *Oper Dent* 11:95-102, 1986.
24. Bullard RH, Leinfelder KF, Russell CM. Effect of coefficient of thermal expansion on microleakage. *J Am Dent Assoc* 116:871-874, 1988.
25. Heys RJ, Fitzgerald M. Microleakage of three cement bases. *J Dent Res* 70:55-58, 1991.
26. Pachuta SM, Meiers JC. Dentin surface treatment and glass ionomer microleakage. *Am J Dent* 8:187-190, 1995.
27. Doerr CL, Hilton TJ, Hermes CB. Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin-modified glass ionomer. *Am J Dent* 9:19-21, 1996.
28. Tate WH, Friedl KH, Power JM. Bond strength of composites to hybrid ionomers. *Oper Dent* 21:147-152, 1996.
29. Youngson CC, Jones JC, Manogue M, Smith IS. In vitro ro dental penetration by tracers used in microleakage studies. *Int Endod J* 31(2):90-99, 1998.
30. Hakimeh S, Vaidyanathan J, Hout ML, Vaidyanathan TK, Von Hagen S. Microleakage of compomer class V restorations: effect of load cycling, thermal cycling, and cavity shape differences. *J Prosthet Dent* 83(2):194-203, 2000.
31. Gladys S, van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Microleakage of adhesive restorative materials. *Am J Dent* 14(3):170-176, 2001.
32. Van Meerbeek B, Perdigão J, Gladys S, Lambrechts P, Vanherle G. Enamel and dentin adhesion. In: Schwartz R, Summitt JB, Robbins JW. Fundamentals of operative dentistry. A contemporary approach. Quintessence Publishing Co., Inc., Chicago, IL, p141-186, 1996.
33. Crim GA. Marginal leakage of visible light-cured glass ionomer restorative materials. *J Prosthet Dent* 69:561-563, 1993.
34. Hilton TJ, Ferracane JL. Cavity preparation factors and microleakage of Class II composite restorations filled at intraoral temperatures. *Am J Dent* 11:113-130, 1999.
35. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to the configuration of the restoration. *J Dent Res* 66:1636-1639, 1987.
36. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL. Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent* 59:297-300, 1988.
37. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, Pashley DH. A review of polymerization contraction: The influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent* 21:17-24, 1996.
38. Asmussen E, Munksgaard EC. Bonding of restorative resins to dentine: Status of dentin adhesives and impact on cavity design and filling techniques. *Int Dent J* 38:97-104, 1988.
39. Santini A, Mitchell S. Microleakage of composite restorations bonded with three new dentin bonding agents. *J Esthet Dent* 10(6):296-304, 1998.
40. Mixon JM, Eick JD, Chappell RP, Tira DE, Moore DL. Comparison of two-surface and multi-surface scoring methodologies for in vitro microleakage studies. *Dent Mater* 7(3):191-196, 1991.