

SEM과 3차원 재구성법을 이용한 수복면의 위치와 와동 크기에 따른 미세누출도 분석

양인서 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

MICROLEAKAGE OF THE CLASS V CAVITY ACCORDING TO RESTORATION SITE AND CAVITY SIZE USING SEM AND THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION TECHNIQUES

In-Seo Yang, Dong-Hoon Shin*

Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

This study was done to evaluate whether there were any differences in microleakage of class V composite restorations according to restoration site and cavity size.

Total sixty-four restorations were made in molar teeth using Esthet-X. Small ($2 \times 2 \times 1.5$ mm) and large ($4 \times 2 \times 1.5$ mm) restorations were made at the buccal/lingual surface and the proximal surface each. After 1,000 times of thermocycling ($5^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$), resin replica was made and the percentage of marginal gap to the whole periphery of the restoration was estimated from SEM evaluation.

Thermocycled tooth was dye penetrated with 50% silver nitrate solution. After imbedding in an auto-curing resin, it was serially ground with a thickness of 0.25 mm. Volumetric microleakage was estimated after reconstructing three dimensionally.

Two-way ANOVA and independent T-test for dye volume, Mann-Whitney U test for the percentage of marginal gap, Spearman's rho test for the relationship between two techniques were used.

The results were as follows:

1. The site and size of the restoration affected on the microleakage of restoration. Namely, much more leakage was seen in the proximal and the large restorations rather than the buccal/lingual and the small restorations.
2. Close relationship was found between two techniques (Correlation coefficient = 0.614 / $P = 0.000$).

Within the limits of this study, it was noted that proximal and the large restorations leaked more than buccal/lingual and the small restorations. Therefore, it should be strictly recommended large exposure of margins should be avoided by reducing unnecessary tooth reduction. [J Kor Acad Cons Dent 30(2):112-120, 2005]

Key words : Microleakage, Restoration site, Cavity size, Three-dimensional reconstruction, SEM

- received 2004. 8. 19, revised 2004. 11. 10, accepted 2004. 11. 23 -

* Corresponding author: Dong-Hoon Shin

Department of Conservative Dentistry,
School of Dentistry, Dankook University,
San 7-1, Shinbu Dong, Cheonan, Chungnam, Korea, 330-714
Tel : 82-41-550-1965 Fax : 82-41-550-1963
E-mail : donyushin@dankook.ac.kr

I . 서 론

치질 접착형 복합레진 수복물은 심미성과 더불어 치질 보존적인 시술이 가능하다는 장점으로 인해, 전치부 뿐만 아니라, 구치부에서도 그 용도가 나날이 증대되고 있다. 그러나 이러한 수복물은 중합수축이라는 재료 자체의 결점을 안

고 있어 이에 따른 응력 발생으로 인하여 접착계면이 분리되어 미세누출이 발생하는 문제점을 수반하고 있다.

이러한 수복물 변연부의 미세누출은 술후 과민증, 세균 및 이물질 침투에 따른 치수 자극, 2차 우식증 등을 유발하며 수복물의 내구성을 좌우하는 것으로 알려져 있다¹¹⁾. 이에 적층 충전²⁾, 다양한 광중합 기법³⁻⁵⁾, 저탄성 계수의 이장재를 사용한 샌드위치형 수복⁶⁾ 등을 통해 중합수축을 줄이려는 노력이 이어져 왔지만, 아직까지는 이를 완벽하게 제어할 수 없는 실정이다.

미세누출에 영향을 주는 것으로는 중합수축¹⁾ 이외에도, 접착시스템이나 수복재의 퇴화 (deterioration)⁷⁾, 이장재나 도말층의 용해⁸⁾, 열순환과 부가 하중⁹⁾이 거론되고 있으며, 중합되는 수복재의 양이 많을수록¹⁰⁾ 또는 자유면에 비해 피착면의 비율이 클수록¹¹⁾ 수축량이 커, 미세누출도 커지는 것으로 보고되고 있다.

한편 치질 접착형 수복물은 우수한 접착력과 변연폐쇄성을 얻기 위해서는 수복재 충전에 앞서 적절한 치면 처리를 요구하고 있다. 그러나 Hobson, Rugg-Gunn과 Booth¹²⁾는 치아의 유형에 따라 산부식 양태가 다르게 나타난다고 하였으며, Sturdevant와 Pashley¹³⁾는 치관부 상아질이 치근부 상아질에 비해 투과성 (permeability)이 크며, 치관부 상아질의 투과성도 부위에 따라 다르다고 하는 등, 동일한 치면 처리에 의해 동일 조건의 피착면 형태를 얻을 수 없다는 결과를 보고한 바 있다. 이에 수복면의 위치 및 외동의 크기에 따라 미세누출도의 차이가 있을 수 있다는 가정 아래 본 연구를 시행하게 되었다.

이러한 수복물의 미세누출도 평가에는 색소 침투법¹⁴⁾, 미생물 침투법¹⁵⁾, 자가방사법¹⁶⁾, 주사전자 현미경을 이용한 변연적합도 평가법¹⁷⁾, 유체이동 측정법¹⁸⁾, 전기화학적 분석법¹⁹⁾, 3차원 재구성법에 의한 정량적 측정법²⁰⁾ 등이 이용되고 있다. 이 중 색소 침투법이 편의성과 침투 양상을 알 수 있다는 장점 등으로 인해 가장 많이 사용되어 왔으며, basic fuchsin²¹⁾과 methylene blue²²⁾, silver nitrate²³⁾를 주로 이용하였다.

그러나, 색소를 침투시켜 미세누출도를 평가하는 기존 방법들은 종단에 의한 평가법의 경우, 종단면의 2차원 측정만 가능하다는 단점이 있고²⁴⁾, 정량적 평가법의 경우에는, 시간

이 많이 소요되며 치질을 용해해야 하고, 색소가 침투된 부위를 알 수 없다는 단점²⁵⁾ 등이 거론되어 왔다. 이에 근래 들어 색소 침투 양태 및 정량 측정을 위해 컴퓨터를 이용한 3차원 재구성법이 이용되고 있다²⁰⁾.

이러한 3차원 재구성법은 유구치의 인접면 우식부 재구성²⁶⁾, 기형 치아의 내부 및 외부 구조 연구²⁷⁾, 매식물 수술시 매식물의 위치 결정²⁸⁾, C자형 치근형태를 보이는 치아의 근관형태 연구²⁹⁾ 등에 사용되어 왔다. 미세누출도와 연관된 연구로는 Veis, Lambrianides와 Nicolaou³⁰⁾가 근관 충전된 치아를 순차적으로 횡단하여 충전된 근관의 미세누출도를 면적으로 분석 (area-metric analysis)함으로써, 색소 침투량과 그 형태를 측정하는 바 있으며, Gale, Darvell과 Cheung³¹⁾은 본 연구에 사용된 방법과 유사한 연속적인 연마를 통해 얻어진 단면상들을 이용하여 미세누출 양태를 단순하게 3차원으로 재구성한 바 있다. 국내에서는 하와 신²⁰⁾이 치면 처리방법에 따른 미세누출도의 차이를 3차원으로 재구성함으로써 교합면 변연부 보다는 치은 변연부에서 더 많은 색소침투가 있었다는 사실과 적절한 치면 처리가 반드시 필요하다는 사실을 다양한 방향에서 육안적으로 파악할 수 있게 하였다.

이에 본 연구에서는 silver nitrate가 침투된 수복물과 치아를 3차원으로 재구성한 다음, 미세누출도를 정량적으로 평가하는 방법과 기존 방법인 주사전자현미경 검경을 통한 변연틈새의 비율을 측정하는 방법을 이용하여, 수복면의 위치 및 외동의 크기에 따른 미세누출도의 차이를 평가하였으며, 두 가지 평가방법 사이의 상관관계를 분석하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

우식 외동 및 수복물이 없는 32개의 건전한 대구치를 사용하였으며, Table 1과 같이 4개 군 (S2, P2, S4, P4)으로 나누어 협면/절면과 인접면 (근심면/원심면)의 치경부에 각기 $2 \times 2 \times 1.5$ mm의 작은 박스형 외동과 $4 \times 2 \times 1.5$ mm의 큰 박스 형태의 5급 외동을 형성하여, 미세입자함유형 복합레진인 A3 색상의 Esthet-X (Dentsply Caulk, Milford, DE, U.S.A.)로 충전하였다.

고속의 330번 버를 이용하여 발거된 건전한 대구치의 협/

Table 1. Experimental groups

Groups (Code)	Sample No.	Restoration site	Cavity size [Length × Width × Depth (mm)]
S2	16	Buccal/Lingual	$2 \times 2 \times 1.5$ (mm)
S4	16		$4 \times 2 \times 1.5$ (mm)
P2	16	Proximal	$2 \times 2 \times 1.5$ (mm)
P4	16		$4 \times 2 \times 1.5$ (mm)

설면과 인접면의 백악법랑 경계부를 중심으로, 각각의 5급 와동을 형성한 다음 수세 및 건조한 후, 단일 과정의 자가부식형 치면 처리제인 xeno[®] III (Dentsply Caulk, Milford, DE, U.S.A.)를 20초간 도포하고 2-3초간 공기 건조시킨 다음, 10초간 광중합하였다. 이는 산 처리 후 다단계 (multistep) 시스템처럼 프라이머와 접착용 레진을 별도로 적용하는 방식이나 한꺼번에 적용하는 단일 병 (one-bottle) 방식에 비해 술식이 간단하고, 오염 가능성이 적으며, 술자에 따른 편차를 줄이기 위해 택하였다³²⁾.

상기한 방법으로 치면을 처리한 다음, 복합레진을 단일 (bulk) 충전하고 광중합기 (XL 2500, 3M, St. Paul, MN, U.S.A.)를 이용하여 600 mW/cm²의 광도로 40초간 중합시켰다. 각 군당 16개씩, 총 62개의 시편을 제작하였다.

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

1) 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, R.O.K.)에 2시간 침전시키고 이후 수세 및 건조시켰다. Nail varnish를 제거한 다음, 치아를 자가중합형 레진 (Orthodontic Resin, Dentsply Caulk, Milford DE, U.S.A.)에 포매하였다.

치아가 포매된 시편을 Accutom-50 (Struers,

Pederstrupvej 84, 2750 Ballerup, Denmark)에 고정시켜 0.25 mm 간격으로 연마되도록 (ground away) 조작한 다음, 각각의 연마된 영상들을 일정한 위치에 고정시킨 디지털 카메라 (Fuji FinePix S1-Pro, Fujifilm, Tokyo, Japan)로 입력하였으며 치아에 따라 30-40개의 영상을 얻었다. Photoshop 6.0 프로그램 (Adobe Systems Inc., San Jose, CA 95110, U.S.A.)에서 색소가 침투된 부분을 표시한 다음, 컬러 영상을 흑백 영상으로 전환하여 .JPEG 파일로 저장하였다.

3D-DOCTOR (Able Software Co., Lexington, MA, U.S.A.) 프로그램을 이용하여 하나의 치아에서 얻어진 일련의 단면상들을 모아 .lst 파일로 저장한 다음, 수복물, 색소침투 부위의 경계선을 각기 다른 색으로 표시하여 이들의 3차원상을 얻었다 (Figure 1). 이후 색소가 침투된 체적을 cubic voxel 단위로 평가하였다.

2) 주사전자 현미경 관찰을 통한 변연틈새 평가

수복물과 치면 사이의 변연틈새 평가를 위한 주사전자 현미경 (JSM-5200, JEOL, Tokyo, Japan) 관찰을 위해 vinyl polysiloxane 인상재 (Aquasil, Dentsply Caulk, Milford, DE, U.S.A.)로 수복물을 인상 채득한 다음, polyurethane die (MODRALIT-3K, DREVE-DEN-TAMID-GMBH, Germany)를 이용하여 resin replica를 제작하였다. 진공 상태에서 얇은 금박으로 도포한 다음, 35배의 배율로 수복물 주변을 2 내지 6회로 나누어 영상을 채득하고, Photoshop 프로그램 (ver. 6.0, Adobe Systems Inc., San Jose, CA 95110, U.S.A.)을 이용하여 변연부 전체를 볼 수 있는 하나의 영상으로 조합하였다. 이후 1,000배의 배율로 변연 틈새가 있는 부위를 측정하여 수복물 전체 둘레에 대한 백분율로 표시하였다 (Figure 2).



Figure 1. Occlusal view of three-dimensionally reconstructed image (Green : restoration, Red : dye)

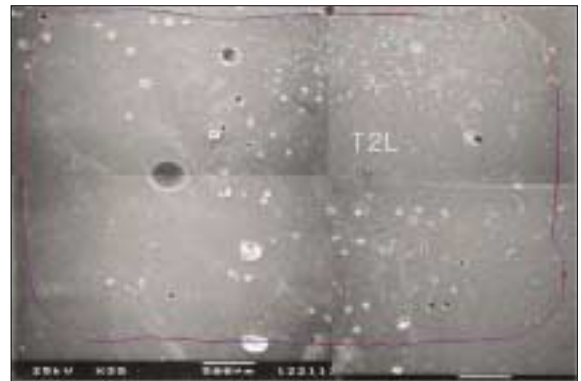


Figure 2. Calculation of marginal gap: Percentage of marginal gap to cavity perimeter (SEM image ; $\times 35$) (Blue line : cavity perimeter, Red line : area with marginal gap)

3) 평가 및 통계 분석

통계분석에는 SPSS ver. 10.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, U.S.A.)을 사용하였다. 수복면과 와동의 크기라는 두 가지 독립변수가 작용하였으므로, 3차원 색소 침투량은 95% 유의수준의 two-way ANOVA로 검정하였으며, 두 요인 사이의 상호작용을 검사하고 independent t-test로 수복면의 위치와 와동 크기에 따른 색소 침투량의 차이를 검정하였다. SEM을 이용한 변연틈새의 측정은 비모수 통계법인 Mann-Whitney test로 검정하였다. 또한 두 가지 방법 (3차원 색소 침투량과 변연적합도) 사이의 상관관계는 Spearman's rho test를 이용하여 검정하였다.

Ⅲ. 연구결과

1) 3차원 재구성에 의한 색소 침투량 분석

Figure 3은 3차원으로 재구성된 수복물 주변으로 50% silver nitrate가 침투된 양태를 와동 내면에서 본 모습으로, 협/설면보다는 인접면에서, 작은 와동보다는 큰 와동에서 색소 침투가 많음을 보여주고 있다. 또한 이러한 재구성법을 이용하면 색소 침투 부위의 관찰이 여러 방면에서 가

능함을 알 수 있다.

각 실험군에 따른 색소 침투량은 Table 2와 같다. S2군은 104527.41 ± 120630.48 , S4군은 291260.89 ± 182871.42 , P2군은 549740.28 ± 544703.72 , P4군은 1049367.00 ± 955361.97 cubic voxels을 보였다. 이는 Figure 3과 같이 협/설면보다는 인접면에서, 작은 와동보다는 큰 와동에서 색소 침투가 많음을 보여주고 있다.

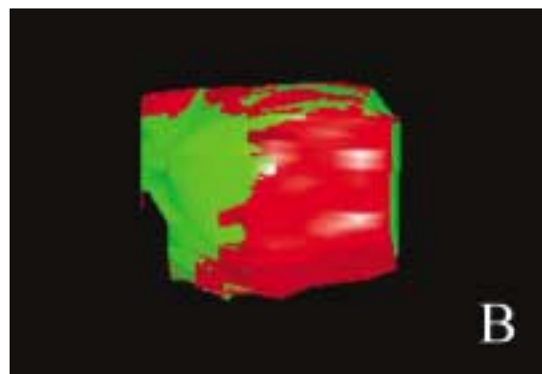
통계적 유의성 검정 결과, 두 가지 독립변수 사이에는 상호작용이 없었지만 ($P = 0.269$), 수복면의 위치 ($P = 0.000$)와 와동의 크기 ($P = 0.017$)에 따라 색소 침투도는 유의한 차이를 보였다 (Table 3). 이에 각각의 독립변수들을 별도로 independent t-test한 결과, 협/설면보다 인접면에서 ($P = 0.000$, Table 4), 작은 와동보다는 큰 와동에서 ($P = 0.035$) 많은 색소 침투도를 보였다 (Table 5).

2) 주사전자 현미경 검경을 통한 변연틈새 분석

변연부 전체 길이에 대한 치아와 수복물 사이의 변연틈새 비율을 측정한 결과, S2군은 4.44 ± 6.05 , S4군은 12.38 ± 8.83 , P2군은 17.12 ± 10.64 , P4군은 25.01 ± 14.42 %를 보였다 (Table 6). 통계적 유의성 검정 결과,



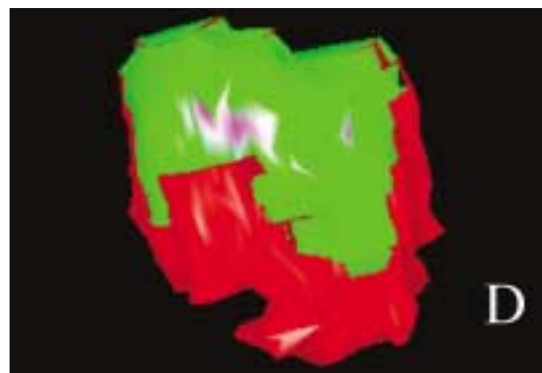
A : S2 group



B : P2 group



C : S4 group



D : P4 group

Figure 3. Internal view of three-dimensionally reconstructed images of experimental groups (Green : restoration, Red : dye)

Table 2. Amount of dye penetration (cubic voxels)

Groups (Code)	Sample No.	Mean	S.D.
S2	16	104527.41	120630.48
S4	16	291260.89	182871.42
P2	16	549740.28	544703.72
P4	16	1049367.00	955361.97

Table 3. Two-way ANOVA analysis (dye penetration)

Source	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3	2.69E + 12	8.555	0.000**
Surface	1	5.79E + 12	18.425	0.000**
Size	1	1.88E + 12	5.994	0.017*
Surf*Size	1	3.92E + 11	1.246	0.269

* indicates significance at the 0.05 level

** indicates significance at the 0.01 level

Table 4. Significance between restoration surface (dye penetration)

Surface	No.	Mean	S.D.	Sig.
Smooth	32	197894.1	179502.9	0.000**
Proximal	32	799553.6	805991.6	

** indicates significance at the 0.01 level

Table 5. Significance between cavity size (dye penetration)

Size	No.	Mean	S.D.	Sig.
Small	32	327133.8	449175.7	0.035*
Large	32	670313.9	778546.5	

* indicates significance at the 0.05 level

Table 6. Percentage of marginal gap (%)

Groups(Code)	Sample No.	Mean	S.D.
S2	16	4.44	6.05
S4	16	12.38	8.83
P2	16	17.12	10.64
P4	16	25.01	14.42

Table 7. Correlation between dye penetration and percentage of marginal gap

		Dye	Gap
Spearman's rho	Dye	Correlation Coefficient	1.000
		Sig. (2-tailed)	0.000**
	Gap	No.	64
		Correlation Coefficient	0.614
		Sig. (2-tailed)	0.000**
		No.	64

** indicates significance at the 0.01 level

이 역시 협/설면보다는 인접면에서 ($P = 0.000$), 작은 와동보다는 큰 와동에서 ($P = 0.005$) 변연틈새 비율이 더 높았다.

3) 두 가지 측정법 사이의 상관관계 분석
3차원 재구성에 의한 색소 침투량과 주사전자현미경에 의한 변연틈새의 상관관계는 비모수 통계법인 Spearman's rho test로 검정하였다 (Table 7). 두 가지 방법 사이에는

높은 비례 관계를 보여주고 있다 (상관계수 = 0.614; $P = 0.000$). 즉 변연틈새의 비율이 높으면 그만큼 침투된 색소량이 클 가능성이 높다는 것이다.

IV. 총괄 및 고안

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

이러한 미세누출에 영향을 주는 요소들은 수복 과정에 따라, 크게 네 가지 단계로 구분할 수 있다. 첫째는 재료 자체의 성질로, 미세누출은 수복재 뿐만 아니라, 접착시스템과의 상호 작용에 의해 결정되며, 접착시스템에서는 치질과의 접착력이나 피착면의 피침성 (wetting property), 용제의 성질, 취급의 용이성 등이 영향을 미치며, 수복재인 복합레진에서는 탄성계수, 수축량 및 열팽창 계수 등이 영향을 준다고 알려져 있다¹⁷⁾. 둘째로는 수복시 충전 및 중합법에 따른 영향으로, 자유면 (unbonded surface)에 대한 피착면 (bonded surface)의 비율인 configuration factor (C-factor)가 크거나^{11,33,34)}, 중합되는 수복재의 양이 많으면 수축응력에 의해 미세누출이 커진다는 사실¹⁰⁾과 중합수축을 보상해줄 수 있는 수복재의 흐름성 (flow)을 부여하기 위해 다양한 광중합 기법이 시도되고 있다는 사실³⁻⁵⁾ 등을 들 수 있다. 셋째는 수복 후의 과정으로, 접착시스템이나 수복재의 퇴화⁷⁾, 이장재나 도말층의 용해⁸⁾, 열순환과 부가 하중⁹⁾ 등을 들 수 있다. 네 번째로 생각해 볼 수 있는 요인들은 치질 접착에 필요한 치면처리 과정과 관련된 피착면의 조건으로, 상아질의 석회화 정도³⁵⁾, 습윤 접착^{36,37)}, 수복면의 위치 등을 들 수 있다. 그러나 전술한 조건들에 대해서는 기존 문헌상에서 많이 언급하고 있으나, 수복면의 위치에 따른 미세누출도의 차이는 거의 보고된 바 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 silver nitrate가 침투된 수복물과 치아를 3차원으로 재구성한 다음, 미세누출도를 정량적으로 평가하는 방법과 주사전자현미경 검경을 통한 변연틈새의 비율을 측정하는 방법을 이용하여 수복면의 위치 및 외동의 크기에 따른 미세누출도의 차이를 평가하였다.

이와 같은 미세누출도 측정법 중에서는 색소를 이용한 침투법이 가장 많이 사용되었지만, 2차원적인 평가인 수복물의 일부 부위만을 중단하여 색소 침투도를 판단하는 방법은 다른 부위에서 일어난 색소 침투를 간과할 수도 있다는 단점을 갖고 있으며²⁴⁾, 정량적 측정법의 경우에도, 치아를 용해한 후 침투된 색소의 농도를 측정해야 하는 등의 단점²⁵⁾을 갖고 있어 이를 극복하고자 본 연구에서는 하와 신²⁰⁾, Gale, Darvell과 Cheung³¹⁾이 보고한 3차원 재구성법을 시도하였다. 한편, 이러한 색소의 치질 침투력과 온도 변화에 따른

차이에 대해, Youngson 등³⁸⁾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 등³⁹⁾은 온도 변화가 미세누출도에 커다란 영향을 미치지만 연속적인 하중 부과 (load cycling)는 그렇지 아니하다 하여, 본 실험에서는 섭씨 5℃와 55℃에서 1,000회의 온도변화를 부여하였다.

수복된 치아를 3차원으로 재구성한 결과 (Figure 3), 치아 외부 및 내면 등 다양한 방향에서 색소가 침투된 양태를 관찰할 수 있었을 뿐 아니라, 정량적 평가가 가능하였다. 이는 다른 3차원 재구성법을 이용한 연구들에서도 공통적인 특징으로 보고되고 있다^{20,31)}. 또한 완벽한 변연봉쇄를 보이지는 않았지만, 법랑질 변연이 실험군에 관계없이 상아질 변연에 비해 색소침투에 대한 저항성이 강함을 보여, 기존 연구들과 같은 결과를 보였다^{16,17)}. 이외에도 특이한 것은 색소 침투량이 많은 경우, 외동의 측부, 즉 근심면과 원심면으로의 색소 침투도 상당함을 볼 수 있었는데, 이는 변연 우각 부가 각진 박스형 수복이 안고 있는 고질적인 문제점으로 사료된다.

한편 본 실험에서 법랑질 변연부의 봉쇄가 완벽하지 못했던 이유 중 하나로, 법랑질 변연에 사면 (bevel)을 형성하지 않은 것을 들 수 있다. Crime⁴⁰⁾은 사면형성은 피착면적을 늘려주고 수축응력을 치질로 분산시켜 줄 수 있다 하였으며, Hilton과 Ferracane⁴¹⁾은 이러한 사면을 형성하지 않으면, 비가역적인 법랑질의 균열이 일어날 수 있고, 법랑소주의 끝 부분보다 측면이 부식되기 때문에 변연 봉쇄성이 낮아진다고 하였다.

본 실험에서는 수복면의 위치와 외동의 크기라는 두 가지 독립변수가 사용되었으므로, 통계 검정을 할 때 두 변수 사이에 서로 영향이 있는지를 확인하여야 한다. 검정 결과, $P = 0.269$ 로 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 이에 각각의 독립변수를 독립적으로 검정하였다.

수복면의 위치에 따른 미세누출도 측정 결과, 색소 침투량에서는 협/설면이 197894.1 ± 179502.9 cubic voxels로 인접면의 799553.6 ± 805991.6 cubic voxels에 비해 매우 유의하게 적었으며 ($P = 0.000$), 변연틈새의 비율도 22.91로 인접면의 42.09 순위(rank)에 비해 유의하게 낮은 양태를 보였다 ($P = 0.000$). 이는 적절한 접착에 필요한 피착면의 조건에 있어 협/설면이 인접면에 비해 크게 유리하다는 것을 의미한다. 즉 접착시스템의 처리 효과가 수복면의 위치에 따라 다르거나, 접착시스템 처리 전의 표면 성질이 다를 수 있다는 것이다. 이와 관련해서는 같은 유형인 경우, 좌우측이나 상, 하악 치아 사이에는 차이가 없지만, 전치와 구치처럼 전후방 위치에 따라서는 산부식 양태가 다르게 나타난다는 Hobson, Rugg-Gunn과 Booth의

주장¹²⁾과, 상아질의 투과성이 부위에 따라 다르다는 Sturdevant와 Pashley의 보고¹³⁾를 감안한다면, 수복면의 위치에 따라 미세누출도의 차이가 있을 수 있다는 본 연구의 결과도 가능할 것으로 보인다. 그러나 향후 다양한 연구 방법 등을 통해 정확한 원인을 파악해낼 필요가 있을 것으로 사료된다.

한편, 와동 크기에 따른 색소 침투량은 작은 크기의 경우, 317733.8 ± 449175.7 cubic voxels로 큰 와동의 670313.9 ± 778546.5 cubic voxels에 비해 적었으며 ($P = 0.035$), 변연틈새의 비율도 26.02로 큰 와동의 38.98 순위에 비해 낮은 양태를 보였다 ($P = 0.005$). 이는 glass inserts의 사용으로 인해 중합되는 복합레진의 양이 줄어들어 따라, 중합수축이 감소하여 결과적으로 미세누출이 줄어든다는 Donly와 Ellis¹⁰⁾의 결과와도 일치하는 것이다.

변연틈새와 3차원 색소침투량은 높은 비례적 상관관계를 보였다 ($r^2 = 0.614$; $P = 0.000$). 즉, 틈새가 많이 생겨 변연적합도가 떨어지는 실험군에서는 색소가 많이 침투되었다는 것을 의미하는 것으로, 이는 Santini와 Mitchell⁴²⁾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 색소 침투량이 더 많았는지를 알 수 있다는 것이다.

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. 또한 와동 크기에 따른 수축응력의 차이로 인해, 미세누출도가 다를 수 있다는 점은 이미 많은 문헌에서 보고된 바 있지만, 수복면의 위치에 따라 미세누출도가 다를 수 있다는 본 연구 결과와 원인에 대한 추론은 많은 연구가 이루어진 바 없으므로 다양한 연구 방법을 통해 지속적으로 검증할 필요가 있을 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 수복면의 위치와 와동의 크기에 따른 미세누출도의 차이를 확인하기 위해 3차원 재구성법에 의한 색소 침투량과 주사전자현미경 검경을 통한 변연틈새의 비율을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

복합레진 수복물은 헵/설편보다는 인접면에서, 그리고 와동의 크기가 클수록 변연누출이 커짐을 알 수 있다. 이에 인접면을 수복할 때에는 가급적 불필요한 치질 삭제제를 피해 변연부의 누출이 커지는 것을 막아야 한다. 또한 임상에서

는 이러한 요인 이외에도 충전 및 중합 등의 어려움이 상존하므로 인접면을 수복할 때에는 더욱 유의해야 할 것이다.

참고문헌

1. Eick JD, Welch FH. Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on post-operative sensitivity. *Quint Int* 17(2):103-111, 1986.
2. Tjan AH, Bergh BH, Lidner C. Effect of various incremental techniques on the marginal adaptation of Class II composite resin restorations. *J Prosth Dent* 67(1):62-66, 1992.
3. Lutz F, Krejci, Oldenburg TR. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: A new restorative technique. *Quint Int* 17(12):777-784, 1986.
4. Uno S, Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J of Dent Res* 99:440-444, 1991.
5. Burgess JO, DeGoes M, Walker R, Ripps AH. An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. *Pract Perio Aesthet Dent* 11(1):125-133, 1999.
6. Aboushala A, Kugel G, Hurley E. Class II composite resin restorations using glass-ionomer liners: Microleakage studies. *J Clin Pediatr Dent* 21(1):67-71, 1996.
7. Öilo G. Biodegradation of dental composites/glass-ionomer cements. *Advan Dent Res* 6:50-54, 1992.
8. Fortin D, Swift EJ Jr, Denehy GE, Reinhardt JW. Bond strength and microleakage of current dentine adhesives. *Dent Mater* 10(4):253-258, 1994.
9. Rigsby DF, Retief DH, Bidez MW, Russell CM. Effect of axial load and temperature cycling on microleakage of resin restorations. *Am J Dent* 5(3):155-159, 1992.
10. Donly KJ, Ellis RK. Glass inserts. A new dimension in restorative dentistry. *Am J Dent* 2(1):21-24, 1989.
11. Feilzer A, de Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 66:1636-1639, 1987.
12. Hobson RS, Rugg-Gunn AJ, Booth TA. Acid-etch patterns on the buccal surface of human permanent teeth. *Arch Oral Biol* 47(5):407-412, 2002.
13. Sturdevant JR, Pashley DH. Regional dentin permeability of Class I and II cavity preparations. *J Dent Res* 68:203 (abstract No. 173), 1989.
14. Saboia VP, Pimenta LA, Ambrosano GM. Effect of collagen removal on microleakage of resin composite restorations. *Oper Dent* 27(1):38-43, 2002.
15. 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.
16. Hembree JH, Andrew JT. Microleakage of several class V anterior restorative materials: a laboratory study. *J Am Dent Assoc* 97(2):179-183, 1978.
17. 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.
18. 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.

19. Von Fraunhofer JA, Adachi EI, Barnes DM, Romberg E. The effect of tooth preparation on microleakage behavior. *Oper Dent* 25(6):526-533, 2000.
20. Ha SY, Shin DH. New quantitative measuring technique for microleakage of the restored tooth through 3D reconstruction. *Korean Acad Conserv Dent* 29(4):413-422, 2004.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. Shin DH. Dentinal microleakage study on the light curable restorative glass ionomer cement. *Korean Acad Conserv Dent* 20(2):832-838, 1995.
26. 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.
27. Mikrogeorgis G, Lyroudia 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.
28. 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.
29. Jung EH, Shin DH. Morphological analysis of C-shaped root using 3D reconstruction. *Korean Acad Conserv Dent* 27(4):421-431, 2002.
30. 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.
31. Gale MS, Darvell BW, Cheung GS. Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 22(6):370-375, 1994.
32. Jason CD, William JD, Louis JT. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a modified 1-step etchant-and-primer technique. *American Orthodontic Dentofac Orthoped* 124(4):410-413, 2003.
33. 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.
34. 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.
35. Marshall GW Jr, Chang YJ, Gansky SA, Marshall SJ. Demineralization of caries-affected transparent dentin by citric acid: an atomic force microscopy study. *Dent Mater* 17(1):45-52, 2001.
36. Saunders WP, Saunders EM. Microleakage of bonding agents with wet and dry bonding techniques. *Am J Dent* 9(1):34-36, 1996.
37. Walls AW, Lee J, McCabe JF. The bonding of composite resin to moist enamel. *Br Dent* 191(3):148-150, 2001.
38. Youngson CC, Jones JC, Manogue M, Smith IS. In vitro dentinal penetration by tracers used in microleakage studies. *Int Endod J* 31(2):90-99, 1998.
39. Hakimeh S, Vaidyanathan J, Houpt 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.
40. Crim GA. Marginal leakage of visible light-cured glass ionomer restorative materials. *J Prosthet Dent* 69:561-563, 1993.
41. 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.
42. Santini A, Mitchell S. Microleakage of composite restorations bonded with three new dentin bonding agents. *J Esthet Dent* 10(6):296-304, 1998.

국문초록

SEM과 3차원 재구성법을 이용한 수복면의 위치와 와동 크기에 따른 미세누출도 분석

양인서 · 신동훈*

단국대학교 치과대학 치과보존학교실

본 연구에서는 수복면의 위치와 와동의 크기에 따른 미세누출도의 차이를 확인하기 위해 3차원 재구성법에 의한 색소 침투량과 주사전자현미경 검경을 통한 변연틈새의 비율을 측정하였다.

32개의 건전한 대구치의 헐/설면과 인접면에 각기 $2 \times 2 \times 1.5$ mm의 작은 와동과 $4 \times 2 \times 1.5$ mm 크기의 큰 5급 와동을 형성한 다음, 자가부식형 접착시스템으로 치면 처리하고 혼합형 복합레진인 Esthet X로 단일 충전하였다.

5도와 55도 사이에서 1000회의 열순환을 시킨 다음, 레진 복제물을 제작하고 SEM 검경을 통해 전체 변연길이에 대한 변연틈새의 비율을 측정하였다. 또한 열순환된 치아에 50% 질산은 용액으로 색소를 침투시킨 후 자가중합형 레진에 포매하여 0.25 mm두께의 간격으로 연속적으로 갈아내면서 각각의 단면상을 채득하였다. 각 단면상을 3차원으로 재구성하여 미세누출도를 정량적으로 평가하였다.

3차원 색소 침투량의 유의성 검정에는 Two-way ANOVA와 independent T-test를, 변연틈새의 비율에는 Mann-Whitney U test를 사용하였으며, 두 방법 사이의 Spearman's rho test로 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 미세누출도는 수복면의 위치와 와동의 크기에 의해 영향을 받았다. 즉 헐/설면과 작은 와동보다는 인접면과 큰 와동에서 더 많은 미세누출을 보였다.
2. 두 방법 사이에는 높은 상관 관계를 보였다 (상관계수 = 0.614 / $P = 0.000$).

이상의 연구 결과로 볼 때, 헐/설면과 작은 와동의 수복물보다는 인접면과 큰 와동의 수복물에서 더 많은 미세누출을 보였으므로, 불필요한 치질 삭제를 줄임으로써 변연부의 노출이 커지는 것을 막아야 할 것이다.

주요어 : 미세누출도, 수복면의 위치, 와동 크기, 3차원 재구성, 주사전자현미경