

올인원 접착제의 미세누출에 관한 정량적 분석

강용희 · 신수일 · 신동훈*
단국대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

A QUANTITATIVE ANALYSIS ABOUT MICROLEAKAGE OF ALL-IN-ONE ADHESIVES

Yong-Hee Kang, Soo-Il Shin, Dong-Hoon Shin*

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Dankook University

All in one adhesives were recently developed for reducing the technique sensitivity and chair time, but lots of concerns were made on bondability, longevity, and microleakage.

The object of this study was to evaluate microleakage and marginal quality of all in one adhesives using electrochemical method and SEM analysis quantitatively.

After making Class V cavities, they were bulk filled with Heliomolar(#A1) after surface treatment with three adhesives: Adper Prompt (Group A), One up bond F (Group O), Xeno III (Group X). Electrical conductivity (microampere, μA) was checked two times: before and after cavity filling.

Percentage of leaky margin was estimated from SEM image ($\times 1,000$).

The data were statistically analysed: ANOVA and Paired T test for electrical conductivity, Kruskal Wallis and Mann Whitney test for marginal quality, Spearman's rho test for checking of relationships between 2 methods

The result were as follows:

1. There was no difference in microleakage between adhesive systems and every specimen showed some of microleakage after filling.
2. Microleakage was reduced about 70 % with composite resin filling.
3. Marginal quality was the best in group A, decreasing among groups in the following order: group O, followed by group X. There were significant differences between group A and group X ($p=0.015$), and between group O and group X ($p=0.019$).
4. There was no relationship between the microleakage measured by electrochemical method and marginal quality measured by SEM analysis.

Within the results of this study, there was no difference in microleakage among groups by electrical conductivity. However, significant difference in marginal quality was seen among groups. It was believed that these dissimilar results might be induced because of their own characteristics. Analysis of microleakage needs various methods for accuracy. (J Kor Acad Cons Dent 29(1):66-72, 2004)

Key words : Quantitative, Microleakage, Electrical Conductivity, Marginal adaptation, SEM, All in one adhesive

Corresponding author: Dong-Hoon Shin

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry,
Dankook University
san 7-1, Shinbu-dong, Cheonan, Chungnam, Korea, 330-716
Tel : 041)550-1965 Fax : 041)550-1963
E-mail : donyshin@dankook.ac.kr

I. 서 론

1962년 Rafael Bowen¹⁾에 의해 복합레진이 치과계에 소개되어 전통적인 치과 치료의 개념이 변화되었으며, 심미성과 치질과의 접착성으로 인해 다른 수복 재료들을 대체하고

* 이 연구는 2002학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음

있는 실정이다. 그러나 40여년에 걸쳐 재료의 물성이 좋아짐에도 불구하고 치질과의 변연을 완벽하게 봉쇄를 하지 못하는 것이 단점으로 인식되고 있다.

현재 사용되는 대부분의 상아질 접착 시스템은 산부식제를 사용하여 치면을 처리한 후 관간상아질의 노출된 콜라겐 섬유층과 열린 상아세판으로 접착제가 침투하여 혼성층 (hybrid layer)과 resin tag를 형성하게 된다²³. 이런 과정을 거쳐 상아질에 형성되는 혼성층은 치질과 복합레진 사이의 결합에 있어서 매우 중요하며, 임상적으로 받아들여질 만한 결과를 보여주고 있다⁴. 그러나 혼성층을 형성하는 과정에서 산부식제를 수세한 후 수분을 제거하게 되는데, 이 과정이 접착과정중 매우 중요하다. 과도하게 수분이 존재하는 경우 접착제의 단량체가 희석되어 접착제의 효과가 감소하게 된다^{5,6}. 또한 과도하게 건조될 경우, 콜라겐 섬유층이 수축하거나 붕괴되어 접착제의 단량체가 탈회된 상아질 표면을 충분히 적시거나 침투하는 것이 어렵게 된다. 탈회된 상아질 표면의 적절한 습윤정도를 유지하는 것이 매우 어려우며, 이런 원인에 의해 술자에 따라 매우 다른 결과를 보여지게 된다⁷. 또한 이 술식은 시간이 많이 걸리며, 접착과정이 복잡하여 임상가들에게 혼동을 줄 수 있다.

최근에는 접착과정을 단순화하여 술식 도중 발생할 수 있는 오류를 줄여주고, 접착시간을 줄여주며, 믿을만한 접착력을 보여주는 재료를 개발하려고 노력하고 있다. 현재 6세대 상아질 접착제라고 불리는 올인원(all in one) 접착제는 산성 단량체를 포함하고 있어 도말층을 용해시키는 동시에, 상아질의 표면을 탈회시켜 레진 성분이 침투한 다음, 이어

지는 광중합에 의해 중합체를 이뤄 혼성층을 형성하게 된다. 그러나 접착과정의 단순화는 접착력 저하, 변연 누출도의 증가 등을 야기할 가능성을 가지고 있다. Gale 등⁸에 따르면 미세누출이 전혀 없는 수복물은 존재하지 않으며, 미세누출은 3차원적으로 존재한다고 하였다. 이러한 미세누출로 인해 구강액, 박테리아, 독성물질과 그 부산물들, 용해성 이온 등이 술후 민감증과 2차 우식, 그리고 치수병변을 야기할 수 있다고 알려져 있다⁹.

이에 본 연구에서는 최근 개발된 올인원 접착시스템들간의 미세누출도를 전기 화학적 분석법을 사용하여 정량적으로 평가하고, 와동 충전 전/후의 미세누출도 변화를 평가하고자 하였으며, 각 변연부의 접착양태를 주사전자 현미경으로 관찰하고, 두 방법간의 상관관계를 평가하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

전구치 겸용 미세입자형 복합레진으로 Vivadent사의 Heliomolar RO (shade : A1)를 사용하였으며 (Table 1), 올인원 접착제로 3M ESPE사의 Adper Prompt와 Tokuyama사의 One up bond F와 Dentsply사의 Xeno III를 사용하였다 (Table 2).

1. 시편제작 및 미세전류 측정

치주 및 교정적 원인으로 최근 발견된 전전한 단근치를 선택하여 협설과 근원심 방향으로 2장의 X ray를 촬영하였

Table 1. Composite resin used for cavity filling

Composte resin (Manufacturer)	Composition			Batch No.
	Filler	Content	Matrix	
Heliomolar RO (Vivadent, Liechtenstein)	silicone dioxide,	46 vol.%	Bis-GMA, urethane	C30178
	ytterbium trifluoride,	66.7 wt.%	dimethacrylate, decandiol	
	copolymer		dimethacrylate,	

Table 2. All-in-one bonding systems

Bonding system	Manufacturer	Batch No.	Code
Adper Prompt	3M ESPE, USA	135100	A
One up bond F	Tokuyama, Japan	X003053	O
Xeno III	Dentsply, Germany	212000326	X

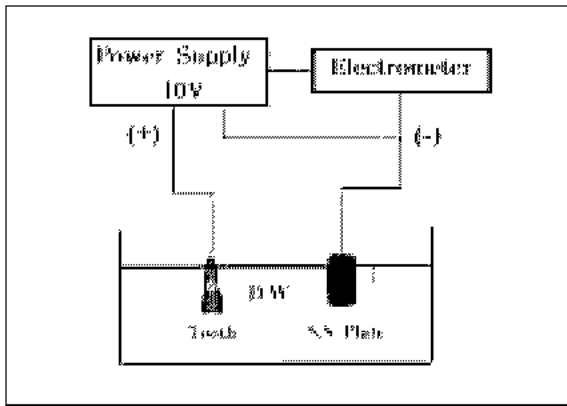


Fig. 1. Schematic drawing of electrochemical test

다. 이중 석회화, 내흡수, 2개의 근관을 가지는 치아를 제외한 단근관의 30개 치아를 사용하였다.

각 치아의 치근단 3 mm를 절단 제거하고 Gate Glidden bur와 #20 K file을 사용하여 치수를 제거한 후 5% 차아염소산 나트륨에 보관하여 잔존 치수를 완전히 제거하였다.

실편 치경부의 백악법랑 경계부를 중심으로 #8 원형 버를 사용하여 직경 2.3 mm, 깊이 1.5 mm의 원형 5급 와동을 형성한 다음, 미세전류(μA) 측정을 위해 근첨부를 통하여 중류수를 치수강내에 채우고 .018 stainless steel wire를 치수 벽에 닿을 때까지 삽입한 뒤 sticky wax로 근첨부를 밀봉하고 nail varnish를 와동의 변연에서 1 mm 떨어지게 하여 2회 도포하였다.

Fig. 1과 같은 회로를 통해 10 V의 전압하에서 미세전류를 측정한다. 각 군에 고르게 분포시킴으로써 실험군간의 치아에 따른 차이가 없도록 조정하였다. 실험시 일정한 전압을 부여하기 위해 직류 공급원인 TOE 8841 (TOELLNER electronic instrument GMBH, Germany)을 이용하였고, 미세전류 측정에는 6514 system electrometer (Keithley Co., Cleveland, Ohio, USA)가 사용되었다.

이후 각 제조회사의 지시에 따라 올인원 접착시스템[A군: Adper Prompt, O군: One up bond F, X군: Xeno III]으로 치면을 처리한 후 복합레진(Heliomolar RO)으로 단일 충전하고 광중합기 (XL 2500, 3M, St. Paul, MN, U.S.A.)를 이용하여 600mW/cm²의 광도로 40초간 중합시켰다. 수복물의 경화를 위해 모든 시편을 실온에서 1일간 생리 식염수에 보관한 후 Sof Lex (3M ESPE, St. Paul, USA)로 마무리하였다.

수복된 치아를 5℃와 55℃ 범위에서 30초씩 담그는 온도 변화를 500회 시행한 다음 같은 방법으로 미세전류를 측정하였다.

전기적용 후 5초 간격으로 측정하여 5분에서 10분까지의

값을 평균하고 이를 3회 반복하여 평균값을 시편의 미세전류값으로 인정하였다.

2. 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, U.S.A.)로 수복물을 인상 채득한 다음, polyurethane 모형재 (MODRALIT 3K, DREVE DEN TAMID GMBH, Germany)을 이용하여 복제물(replica)을 제작하였다. 진공 상태에서 얇은 금박을 도포한 다음, 35배의 배율로 수복물 주변을 2회로 나누어 영상을 채득한 다음, Photoshop 프로그램 (ver. 6.0, Adobe Systems Inc., San Jose, CA, U.S.A.)을 이용하여 변연부 전체를 볼 수 있는 하나의 영상으로 조합하였다. 이후 1,000배의 배율로 변연적합도가 불량한 (수복물과 치질 사이의 틈새가 있는) 부위를 측정하여 수복물 전체 둘레에 대한 백분율로 표시하였다.

3. 통계처리

통계분석에는 SPSS ver. 10.0(SPSS Inc, Chicago, IL, U.S.A)을 사용하였다. 각 군간의 미세누출도의 유의성은 One way ANOVA와 Paired T test로 검정하였으며, 변연적합도의 유의성은 Kruskal Wallis 및 Mann Whitney test로 검정하였다. 또한 두 방법간의 상관관계는 Spearman's rho test를 이용하여 검정하였다.

III. 연구 결과

1. 전기 화학적 방법을 통한 미세누출도

와동 충전 전/후의 미세 전류량은 Table 3과 같다. ANOVA 검정 결과, 와동 충전 전의 각 군간의 유의성이 0.898로, 각 실험군에 사용된 치아들이 차이가 없도록 고르게 분포되었음을 알 수 있다. 충전 후에도 각 군간의 유의성이 0.926으로 차이가 없었다. 와동 충전 전/후의 차이를 Paired T test 검정 결과, 와동이 충전됨에 따라 모든 군에서 미세 전류량이 유의성 있게 줄어들었으며, 각 군당 평균적으로 약 70% 정도 감소하였다 (Table 4).

2. 주사 전자 현미경을 통한 변연 적합도

치아와 수복물 사이의 틈새를 보이는 변연부의 비율을 측정된 결과, A군이 9.21±15.27%, O군이 14.36±12.11%,

Table 3. Microleakage currents before and after cavity filling

Groups	Sample No.	Mean (S.D.)		Paired T test (p-value)
		Before filling	After filling	
A	10	30.5086 (15.1490)	8.2217 (2.7814)	.001**
O	10	34.2650 (21.8916)	7.8621 (2.8086)	.002**
X	10	33.5838 (20.1018)	7.7813 (2.3987)	.001**
ANOVA결과 (p-value)		.898	.926	

** : significant at the p<0.01 level

Table 4. Amount of current reduction with cavity filling

Groups	Sample No.	Mean (S.D.) Current reduction	unit (%)
A	10	69.2019 (11.4998)	
O	10	72.8328 (11.1297)	
X	10	72.2907 (10.6858)	

Table 5. Percentage of marginal gap (%)

Groups	Sample No.	Mean Ranks
A	10	10.7
O	10	14.00
X	10	21.8
Sig.		p=0.014

* : significant at the p<0.05 level

Table 6. Correlations between two methods

Spearman's rho	Current	Correlation Coefficient	Current	Gap
			Sig. (2-tailed)	1.000
	Gap	Correlation Coefficient	-.278	1.000
		Sig. (2-tailed)	.136	.136

X군이 27.73±9.61%를 보였다. 비모수 통계인 Kruskal Wallis test 검정 결과, 전체 군간 유의차가 있었다 (p=0.014). Mann Whitney test 결과, A군과 O군은 유의한 차이가 없었으나, A군과 X군(p=0.015), O군과 X군(p=0.019)은 유의한 차이가 있었다 (Table 5).

3. 두 방법간의 상관관계 분석

Spearman's rho test 검정 결과, 두 방법간의 상관관계는 매우 낮았다 (Table 6).

IV. 총괄 및 고안

현재 사용되고 있는 복합레진 시스템은 수복물 주변의 미세누출을 완벽하게 막을 수는 없으며^{8,10}, 이에 따라 변연부의 틈새를 통하여 구강내 용액, 이온, 박테리아의 침투가 가능하며, 이로 인해 2차 우식, 치수괴사 등이 일어나 수복물의 실패를 야기하게 된다.

이러한 미세누출을 막으려는 다양한 시도들이 이루어져 왔으며, 이중 한 방법으로 치면처리 과정을 단순화하여 진료시간을 단축시키고, 습윤접착 과정중 발생할 수 있는 오류를 줄여주며, 술자에 따른 민감성을 낮춤으로써 어느 누가 사용하더라도 유사한 결과를 얻게 하려는 시도들이 행해

지고 있다.

최근 소개된 올인원 접착제는 두 개의 용액을 혼합하여, 도말층으로 덮힌 상아질에 도포하고, 광중합하는 방법을 사용하므로 진정한 1단계 접착제라 할 수 있다. 올인원 접착제는 2단계의 자가 산부식 프라이머 시스템과 같이 도말층을 부식시키고, 도말층 하방의 상아질에 혼성층을 형성할 수 있는 산성의 레진 단량체를 포함하고 있다. Phosphoric ester 등의 산성 단량체가 상아질과 법랑질의 표면을 부식시키며, 미반응 단량체는 광중합 과정 중에 기질내에서 중합하게 되므로 부식의 깊이와 접착제의 침투깊이가 동일하게 된다. 또한 열린 상아세관을 통하여 유체의 이동으로 발생할 수 있는 슬루트 민감성이 감소하게 되고, 접착제가 침투하지 못한 부위가 가수분해되는 위험성이 없어지게 되어 이상적인 접착을 이루게 된다.

그러나, 주사 전자 현미경을 이용한 연구^{11, 19}에 의하면 법랑질의 경우, 인산을 적용했을 때보다 얇은 깊이의 부식 양상을 보여주며, 혼성층의 두께도 4세대, 5세대의 상아질 접착제에 비해 매우 얇다고 알려져 있다. 이러한 혼성층의 두께에 대해 많은 연구^{14, 19}에서 두께와 접착력은 상관관계가 없는 것으로 알려져 있으나, Kemp Scholte 등¹⁷은 혼성층이 탄성이 있으므로, 이러한 탄성에 의해 복합레진의 중합으로 야기되는 수축응력을 흡수할 수 있어 변연적합도와 수복물의 유지에 도움을 줄 수 있을 것이라 하였다. 이처럼, 적용방법의 간소화는 접착력의 저하, 미세누출의 증가 등을 야기할 가능성이 있다.

미세누출을 측정하는 방법에는 색소, 박테리아 등을 이용한 침투법, 중성자 활성화 분석법, 유체이동 측정법, SEM 검사법, 전기 화학적 검사법 등이 있다¹⁸. 기존 연구실에서 가장 많이 사용되고 있는 색소침투법의 경우, 정성적 결과를 보여주며, 평가를 위해 시편을 파괴해야 하며, 절단된 면만을 평가한다는 점과, 연구자의 주관이 개입될 수 있다는 단점을 안고 있다. 이에 본 연구에서는 정량적인 평가가 가능한 전기 화학적 방법을 사용하여 미세누출을 측정하였다. 전기 화학적 방법은 접착 계면에 미세누출이 존재할 경우 미세전류가 매질을 통해 흐르게 된다는 사실을 이용한 방법으로 시편에는 (+)극을 적용하고, (-)극에는 stainless steel plate를 사용하여 전해질에 담근 뒤 일정한 전압을 적용하면, electrometer에는 미세전류가 표시된다. 높은 미세전류값은 많은 미세누출이 존재한다는 것을 의미한다^{18, 20}. 이러한 전기 화학적 방법은 시편을 파괴하지 않고, 수복물 전체의 미세누출을 정량적으로 측정할 수 있으며, 연구자의 주관이 개입되지 않고, 지속적인 평가가 가능하다. 그러나, 미세누출의 정확한 위치를 알기 어렵고, 치아의 연령, 치수강내 물질, 와동의 깊이, 크기, 경화 상아질의 양, 전해질의 양, 전극의 위치, 주변환경에 따라 미세전류값이 변할 수 있다는 단점도 갖고 있다^{21, 22}. 그러므로 어느 시점에서의 값을

시편의 정확한 미세누출 값인지를 판단하기에 어려움이 있다. 이에 본 실험에서는 예비실험을 통해 전류를 적용한 때를 기점으로 약 5분 이후부터는 미세전류값이 안정화된다는 점을 바탕으로 미세전류값을 전류적용 5분에서 10분까지의 평균값으로 결정하였으며 이를 다시 3회 시행하여 평균하였다. 또한 10V의 직류 전기를 사용하였는데, Nakano 등²³에 의하면 외부의 영향을 적게 받기 위해 가능한 높은 전압을 사용할 것을 주장하였으나, Delivanis 등^{24, 25}은 20V보다는 10V를 사용하는 것이 다른 미세누출 연구들과의 상관성이 더 높다고 하였다.

균일한 크기의 와동형성을 위해 # 8 round bur를 사용하여 절면에 와동형성을 하였으며, 와동 충전 전 미세누출도를 측정된 결과를 토대로 각 실험군간에 균일하게 치아를 배분하였다. 즉 A군은 $30.5086 \pm 15.1490 \mu A$, O군은 $34.2650 \pm 21.8916 \mu A$, X군은 $33.5838 \pm 20.1018 \mu A$ 로, 통계분석 결과 p값이 0.898로 각 군간의 실험 치아가 유의한 차이가 없음을 확인하였다.

와동 충전 후의 미세누출도를 보면, A군은 $8.2217 \pm 2.7814 \mu A$, O군은 $7.8621 \pm 2.8086 \mu A$, X군은 $7.7813 \pm 2.3987 \mu A$ 로, 통계분석 결과 p값이 0.926으로 각 군간의 유의한 차이가 없었다. 이는 사용된 올인원 접착시스템들의 변연봉쇄 효과가 유사하다는 것을 의미한다.

변연적합도의 경우, A군은 $9.2127 \pm 15.2742 \%$, O군은 $14.3553 \pm 12.1076 \%$, X군은 $27.7319 \pm 9.6100 \%$ 의 틈새를 보였으며, 통계분석 결과 A군과 O군은 유의한 차이가 없으나, A군과 X군($p=0.015$), O군과 X군($p=0.019$)은 유의한 차이가 있었다.

전기 화학적 방법으로 측정된 미세누출도와 주사 전자 현미경을 이용한 변연적합도는 서로 다른 결과를 보였으며, 서로 상관관계가 없는 것으로 나타났다. Alhadainy 등²⁶에 의하면 전기 화학적 방법의 경우 누출의 측정을 위해서는 전해질이 누출부위의 전체에 걸쳐 침투해야 측정이 가능하며, 부분적인 미세누출의 경우 측정이 불가능하다고 하였다. 또한 Jacquot 등²⁷은 전기 화학적 방법은 수복물의 변연뿐만 아니라 수복물 자체의 누출까지도 측정할 수 있다고 하였다. 여러 연구에서는^{28, 29} 실험실 연구의 한계로 인해 주사 전자 현미경을 이용한 변연적합도의 정량적 분석이 정확하고 믿을만한 방법이라고 하였으나, Manhart 등³⁰은 주사 전자 현미경을 이용한 측정은 변연부의 표면의 질만을 평가할 수 있고, 치수강으로 향한 누출의 평가는 색소 등을 이용한 통상의 실험을 사용해야만 가능하다고 하였다. 본 실험에서 두 방법간의 상관관계가 없는 것으로 나타난 것도 이러한 원인에 의한 것으로 추정해 볼 수 있다.

와동 충전 전/후의 미세전류량의 감소는 A군은 $69.2019 \pm 11.4998 \%$, O군은 $72.8328 \pm 11.1297 \%$, X군은 $72.2907 \pm 10.6858 \%$ 로 평균적으로 약 70%가 감소하였

다. Jacobson 등^{19,20}에 의하면 미세전류량을 미세누출을 나타내는 지표로 나타낼 수 있다고 하였다. 이에 의하면 와동 충전에 의해서 와동 충전 전의 누출의 약 70% 정도가 감소된다고 할 수 있다. 이는 현재 사용되고 있는 어떠한 수복재도 미세누출을 완벽히 없애지는 못한다는 기존의 연구결과^{30,33}들과 부합한다. 기존의 연구들은 미세누출을 정성적으로 분석하여 와동 충전에 의해 누출이 얼마나 감소하는지를 알 수 없으며, 또한 얼마나 감소하여야만 슬후 민감성이 줄어들고, 수복물의 내구성이 유지되는지에 관한 연구는 거의 없다.

여러 문헌에 의하면 연구실 실험 결과가 임상 상황을 추정할 수 있는가에 대해서는 논란의 여지가 많다. Barnes 등³⁰에 의하면 임상실험에 비하여 연구실 실험이 수복물과 치질사이의 미세누출도가 더 크다고 보고하였으나, Abdalla 등³⁰은 임상 실험시 모든 시편에서 미세누출이 관찰되나, 연구실 실험에서는 약 60 %의 시편만이 미세누출을 보였다고 보고했다. 또한 Ferrari 등³⁰에 의하면 연구실, 임상 실험이 동등한 결과를 보인다고 보고하였다. 이런 다양한 결과들은 실험실 연구와는 달리 구강내에서는 접착제의 사용과 복합레진의 조각이 어렵고, 수복물이 여러 요인에 의해 영향을 받기 때문일 것이라고 생각된다³⁷. 그러므로 미세누출의 측정을 위해서는 다양한 방법들의 특성을 잘 이해하고, 활용하는 복합적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

수복물과 치질간의 미세누출은 수복물의 수명과 연관된 매우 중요한 요소이며 이를 줄이려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.

이에 본 저자는 최근 개발된 울인원 접착제들의 미세누출을 미세전류를 사용하여 측정하는 전기 화학적 방법과 주사 전자 현미경을 이용하여 변연적합도를 관찰하고, 두 방법간의 상관관계를 알아보고자 하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 전기 화학적 방법으로 측정된 미세 누출도의 경우, 각 군간의 유의한 차이를 보이지 않았으며, 와동 충전 후에도 미세누출을 완벽하게 제거할 수 없었다.
2. 복합레진에 의한 와동 충전은, 각 군당 평균적으로 약 70%의 미세 누출을 감소시킬 수 있었다.
3. 주사 전자 현미경으로 판독된 변연 적합도의 경우 Adper Prompt, One up bond F, Xeno III 순으로 좋았으며, Adper Prompt와 One up bond F는 유의한 차이가 없었으나, Adper Prompt와 Xeno III ($p=0.015$), One up bond F와 Xeno III ($p=0.019$)는 유의한 차이가 있었다.
4. 전기 화학적 방법으로 측정된 미세누출도와 주사 전자

현미경으로 측정된 변연 적합도 간에는 상관관계가 매우 적었다 ($p=0.136$).

이상의 연구 결과를 토대로 볼 때, 전기 화학적 방법으로 측정된 미세 누출도는 실험군 간의 유의한 차이가 없으나, 주사 전자 현미경으로 측정된 변연 적합도는 실험군 간의 유의한 차이가 있었다. 이는 측정 방법간의 특성 차이에 기인한 것으로 생각된다. 그러므로 미세누출의 측정을 위해서는 다양한 방법들의 특성을 잘 이해하고, 활용하는 복합적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bowen RL. Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues. IV. Bonding to dentin, enamel, and fluorapatite improved by the use of a surface active comonomer. *J Dent Res* 44(5):906 911, 1965.
2. Pashley DH, Carvalho RM. Dentine permeability and dentine adhesion. *J Dent* 25(5):355 372, 1997.
3. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Morphological aspects of the resin dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71(8):1530 1540, 1992.
4. Van Meerbeek B, Peumans M, Verschuere M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Clinical status of ten dentin adhesive systems. *J Dent Res* 73(11):1690 1702, 1994.
5. Manhart J, Chen HY, Kunzelmann KH, Hickel R. Bond strength of a compomer to dentin under various surface conditions. *Clin Oral Investig* 3(4):175 180, 1999.
6. Farik B, Munksgaard EC, Suh BI, Andreasen JO, Kreiborg S. Adhesive bonding of fractured anterior teeth: effect of wet technique and rewetting agent. *Am J Dent* 11(6):251 253, 1998.
7. Miyazaki M, Onose H, Moore BK. Effect of operator variability on dentin bond strength of two step bonding systems. *Am J Dent* 13(2):101 104, 2000.
8. Gale MS, Darvell BW, Cheung GS. Three dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 22(6):370 375, 1994.
9. Crim GA, Chapman KW. Reducing microleakage in Class II restorations: an in vitro study. *Quintessence Int* 25(11):781 785, 1994.
10. Osins BA, Carter JM, Shih Levine M. Microleakage of four root canal sealer cements as determined by an electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 56(1):80 88, 1983.
11. Sakoolnamarka R, Burrow MF, Tyas MJ. Interfacial micromorphology of three adhesive systems created in caries affected dentin. *Am J Dent* 16(3):202 206, 2003
12. Somphone P, Pereira PN, Nikaido T, Tagami J. Enhanced bond strengths of compomers using two dentin bonding systems. *Am J Dent* 15(5):325 329, 2002.
13. Kubo S, Li H, Burrow MF, Tyas MJ. Nanoleakage of dentin adhesive systems bonded to Carisolv treated dentin. *Oper Dent* 27(4):387 395, 2002.
14. Perdigao J, May KN Jr, Wilder AD Jr, Lopes M. The effect of depth of dentin demineralization on bond

- strengths and morphology of the hybrid layer. *Oper Dent* 25(3):186-194, 2000.
15. Phrukkanon S, Burrow MF, Tyas MJ. The effect of dentine location and tubule orientation on the bond strengths between resin and dentine. *J Dent* 27(4):265-274, 1999.
 16. Prati C, Chersoni S, Mongiorgi R, Pashley DH. Resin infiltrated dentin layer formation of new bonding systems. *Oper Dent* 23(4):185-194, 1998.
 17. Kemp Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 69(6):1240-1243, 1990.
 18. Jacobsen PH, Von Fraunhofer JA. Assessment of microleakage using a conductimetric technique. *J Dent Res* 54(1):41-48, 1975.
 19. Jacobson SM, von Fraunhofer JA. The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 42(6):817-823, 1976.
 20. Mattison GD, von Fraunhofer JA. Electrochemical microleakage study of endodontic sealer/cements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55(4):402-407, 1983.
 21. 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.
 22. Pradelle Plasse N, Wenger F, Colon P. Effect of conditioners on dentin permeability using an impedance method. *J Dent* 30(5-6):251-257, 2002.
 23. Nakano Y. A New electrical testing method on marginal leakage of composite resin restorations. *Jpn J Conserv Dent* 28(4):1183-1198, 1985.
 24. Delivanis PD, Chapman KA. Comparison and reliability of techniques for measuring leakage and marginal penetration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53(4):410-416, 1982.
 25. von Fraunhofer JA, Adachi EI, Barnes DM, Romberg E. The effect of tooth preparation on microleakage behavior. *Oper Dent* 25(6):526-533, 2000.
 26. Alhadainy HA, Elsaed HY, Elbaghdady YM. An electrochemical study of the sealing ability of different retrofilling materials. *J Endod* 19(10):508-511, 1993.
 27. Jacquot BM, Panighi MM, Steinmetz P, G'sell C. Evaluation of temporary restorations' microleakage by means of electrochemical impedance measurements. *J Endod* 22(11):586-589, 1996.
 28. Gladys S, Van Meerbeek B, Inokoshi S, Willems G, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G. Clinical and semiquantitative marginal analysis of four tooth coloured inlay systems at 3 years. *J Dent* 23(6):329-338, 1995.
 29. Roulet JF. Marginal integrity: clinical significance. *J Dent* 22 Suppl 1:S9-12. Review, 1994.
 30. 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.
 31. Gallo JR 3rd, Bates ML, Burgess JO. Microleakage and adaptation of Class II packable resin based composites using incremental or bulk filling techniques. *Am J Dent* 13(4):205-208, 2000.
 32. Gladys S, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G. Microleakage of adhesive restorative materials. *Am J Dent* 14(3):170-176, 2001.
 33. Dietrich T, Kraemer M, Losche GM, Roulet J. Marginal integrity of large compomer Class II restorations with cervical margins in dentine. *J Dent* 28(6):399-405, 2000.
 34. Barnes DM, Thompson VP, Blank LW, McDonald NJ. Microleakage of Class 5 composite resin restorations: a comparison between in vivo and in vitro. *Oper Dent* 18(6):237-245, 1993.
 35. Abdalla AI, Davidson CL. Comparison of the marginal integrity of in vivo and in vitro Class II composite restorations. *J Dent* 21(3):158-162, 1993.
 36. Ferrari M, Yamamoto K, Vichi A, Finger WJ. Clinical and laboratory evaluation of adhesive restorative systems. *Am J Dent* 7(4):217-219, 1994.
 37. Momoi Y, Iwase H, Nakano Y, Kohno A, Asanuma A, Yanagisawa K. Gradual increases in marginal leakage of resin composite restorations with thermal stress. *J Dent Res* 69(10):1659-1663, 1990.