

The Effect of Aging Treatment for Microleakage within Composite Resin Restoration

Seunghoon Yoo

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

Abstract

In this study, researchers tried to find the effect, if any, of aging treatment to the specimens with three different dentin bonding agents using MicroCT. One, 5th generation - [Adper™ Single bond Plus] and two 6th generation [AdheSE®, Adper™ Prompt™ L-Pop™] dentin bonding agents were used in this study.

Specimens were divided into 4 groups according to aging treatment method used. Group I : control group, Group II : thermocycled between 5℃ and 55℃ for 60 seconds dwell time 5,000 times, Group III : aged as Group II and artificially brushed 20,000 times, Group IV : aged as Group III and were stored in artificial saliva for 6 months.

With Single bond Plus, Group II showed more microleakage than Group I ($p < 0.05$). Group II and Group III showed more microleakage than Group IV ($p < 0.05$). There were no statistically significant differences among the groups using AdheSE® and Prompt™ L-Pop™ ($p > 0.05$). Among Group I, AdheSE® showed more microleakage than Single bond Plus and Prompt™ L-Pop™ ($p < 0.05$). Among Group II, there were no statistically significant differences ($p > 0.05$). Among Group III, AdheSE® showed more microleakage than Single bond Plus and Prompt™ L-Pop™ ($p < 0.05$). Among Group IV, AdheSE® and Prompt™ L-Pop™ showed more microleakage than Single bond Plus ($p < 0.05$).

Key words : Microleakage, Dentin bonding agent, Aging treatment, MicroCT, Composite resin

I. 서 론

수복 치료 시 사용하는 복합레진은 환자가 원하는 심미성에 대한 욕구를 충족시킬 수 있는 재료로 널리 사용되고 있다¹⁾. Dauvillier 등²⁾은 이상적인 수복재란 심미적이고 중합과정에서 발생하는 미세한 팽창을 통해 재료와 치질 간에 미세누출이 일어나지 않는 것이어야 한다고 하였다. 하지만 복합레진의 중합 반응은 분자간 연결고리의 증가를 수반하기 때문에 수축이 발생 한다³⁻⁵⁾. 중합에 의해 발생하는 수축의 양을 줄이는 노력뿐 아니라 수축 응력을 최소화하기 위하여 다양한 재료가 개발되었다. 수복 재료가 포함하는 필러의 함량에 따라 수축량과 수축

응력이 발생하는 양상에 변화가 나타나며 필러의 함량이 증가할수록 물성의 증가와 중합수축의 양이 줄어드는 결과를 얻을 수 있었으나⁶⁻⁸⁾ 수축 응력이 증가하는 것으로 알려져 있으며 반대로 수복재료가 포함하는 필러의 함량이 적을 경우 흐름성의 증가와 함께 중합 시 발생하는 수축 응력을 체적의 변화와 함께 재료 내에서 분산시키는 효과가 있지만 이때 발생하는 체적변화의 양은 필러의 함량이 감소할수록 커지게 된다. 미세누출은 중합수축량 보다 이를 일으키려는 수축 응력에 더 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다⁹⁾. Puckett과 Smith¹⁰⁾는 복합레진의 중합 시 1.3%에서 3.22%의 체적변화가 나타난다고 하였으며 Goldman⁷⁾은 1983년 연구에서 복합레진의 중합과정에서 발생

Corresponding author : Seunghoon Yoo

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University, 119 Dandaero, Dongnam-gu, Cheonan, 330-714, Korea

Tel: +82-41-550-0222 / Fax: +82-41-550-0118 / E-mail: yoo.seunghoon@gmail.com

Received October 28, 2013 / Revised November 5, 2013 / Accepted November 6, 2013

www.kct.go.kr

하는 수축량은 1.67에서 5.68%에 이르며 중합 수축 시 발생하는 응력은 4.0~7.0 MPa 이라고 보고하였다. 이후의 연구에 따르면 복합레진의 중합 수축 시 발생하는 응력은 1.8 MPa 에서부터 11 MPa 까지 다양하게 나타났다¹¹⁻¹⁴. 일반적으로 수복 재료와 치질 간의 결합력보다 중합 수축 과정에서 발생하는 응력이 더 큰 경우 접착면에서의 실패가 발생하며 접착면에서의 틈이 생기지 않더라도 수복재 내부의 균열이나 인접 치질의 변형을 초래할 수 있다고 하였다². 현재 임상적으로 상용하고 있는 결합제들의 치질에 대한 결합 강도는 20 MPa 이상으로 알려져 있다¹⁵. 복합레진을 구성하는 필러의 함량과 크기만으로 중합 시 발생하는 수축의 양상을 예측, 단정할 수 없으며¹⁶ 복합레진의 필러 성장과 함량의 조절 뿐 아니라 기질의 변화 또한 연구의 대상이었다. 최근에는 silorane을 monomer로 하는 복합레진이 기존의 methacrylate 복합레진에 비하여 적은 중합 수축양상을 보이는 것으로 보고되고 있다¹⁷.

1955년 Buonocore¹⁸가 주창한 치아의 표면 처리 방법 이후에 지속적인 재료의 변화와 발전을 통해 산부식제와 전처리제, 본딩제로 구성되는 4세대 상아질 접착제 이후로 술식 과정을 최소화하기 위한 노력으로 산부식제와 전처리제를 한 번에 적용하거나 전처리제와 본딩제를 한 번에 적용하는 5세대 상아질 접착제가 개발되었다. 이후 세 가지 성분을 혼화 과정을 통하여 한 번에 적용하는 6세대 상아질 접착제가 개발되었다.

충전제와 접착제의 지속적인 발전을 통해 치질과 수복 재료 간의 결합 강도는 개선되었으나 복합레진의 중합 과정에서 발생하는 수축에 의한 미세누출은 피할 수 없는 과정으로 이로 인해 술 후 민감성의 증가, 치수의 괴사, 수복재료와 치아의 파절로 인한 수복의 실패를 유발시킬 수 있다¹⁹⁻²². 치질과 수복 재료 간의 결합 강도를 측정하기 위한 방법으로 이용하였던 전단결합강도 측정법은 미세인장강도 실험(microtensile bond strength test)을 통하여 더욱 표준화되고 정밀한 측정이 가능해졌지만 미세누출을 측정하는 방법은 일반적으로 10% 메틸렌 블루를 이용하는 측정법과 50% 질산은을 염색제로 사용하는 전통적인 방법을 사용하고 있다. 이러한 침투법을 이용한 측정 방법은 형성하는 와동의 깊이가 일정해야 한다는 전제를 갖고 있기 때문에 이러한 전제를 만족하지 못할 경우 값의 신뢰도는 떨어지게 된다. Raskin 등²³의 미세누출에 관한 연구를 조사한 결과 미세누출 양을 확인하기 위하여 1회 절단한 실험이 47.3%로 가장 높은 비율을 차지했으며 2회 절단은 20.1%, 3회 절단은 12.8%로 절단 수가 늘어날수록 비율이 점점 작아진다고 하였다. 절단 수를 증가시키는 것은 절단 면이 갖는 대표성에 대한 의미를 강화하기 위한 과정으로 동일 시편에서 얻는 데이터 수를 늘려 최대값을 대표값으로 하게 된다. 절단 횟수를 늘림에 따라 실제 미세누출의 양에 좀 더 접근하는 방법이 될 수 있겠지만 미세누출의 양상을 파악하는 데는 한계가 있다. 또한 미세누출의 양이 많아 와동 벽까지 확장된 경우 범랑질을 통하여 발생한 누출인지 상아질을 통하여 발생한 누출인지 명확하게 구분할 수 없는 경우가 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 재료를 일정한 간격으로 순차적으로 갈아내면서 관찰하

여 이를 3차원적으로 재구성하는 방법을 소개하기도 하였다. 이런 방법은 1회 혹은 3회 절단을 시행할 때보다 미세누출의 양이 가장 큰 곳을 관찰할 가능성이 높아지지만 시편을 파괴해야 하는 단점이 있다.

Wahab 등²⁴은 기존의 미세누출 측정법에 대하여 표준화되고 신뢰도가 높으며 서로 다른 실험의 결과를 비교할 수 있는 방법의 개발이 필요하다고 하였다. MicroCT는 치아에 형성한 와동과 수복물 간에 발생한 미세누출을 통해 흘러들어간 질산은을 방사선 사진을 이용하여 촬영하고 그 영상을 디지털화하고 질산은이 나타내는 부위를 정량 분석할 수 있다. Eden 등²⁵은 MicroCT의 장점으로 시편을 절편하지 않으므로 미세누출량의 변화가 일어나지 않아 데이터의 손상 가능성이 없고 미세누출이 일어난 부위를 전체적으로 관찰할 수 있고 모든 변연을 확인할 수 있기 때문에 가장 깊이 침투한 부위를 결정할 수 있다고 하였다.

복합레진을 이용한 수복에서 시효처리가 어떠한 영향을 미치는가에 대해서는 다양한 의견이 존재한다. Rossomando 등²⁶의 연구에 의하면 열 순환의 횟수는 미세누출에 영향을 주지 않는다고 보고하였다. Burgess 등²⁷은 시효처리 후에 결합 강도의 유의한 차이는 보이지 않는다고 보고하였으나 Kraivixien 등²⁸은 열 순환법이 치질과 재료의 결합강도의 약화를 유발시킨다고 보고하였다. 미세누출과 관련하여 Gary²⁹는 6개월의 시효처리 이후에 미세누출의 양이 유의하지 않게 증가하는 것으로 보고하였다.

본 연구는 세 가지 상아질 접착제를 이용하여 치아에 복합레진을 충전하고 일상생활에서 발생할 수 있는 네 가지 조건으로 시효처리한 후 시편에서 발생하는 미세누출의 양을 MicroCT를 이용하여 측정하고 값을 비교 분석하고자 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

1) 치아 준비

교정치료를 목적으로 발거한 건전한 소구치를 120개 준비하였다. 치근 부위는 교정용 레진을 이용하여 불력을 형성하였고 치아의 치경부에 고속 핸드피스용 #330 carbide bur를 이용하여 5 mm × 4 mm 넓이에 2 mm 깊이의 V급 와동을 형성하였다.

2) 상아질 접착제

5세대 상아질 접착제인 Adper™ Single bond Plus(3M-ESPE, USA)와 6세대 상아질 접착제인 AdheSE®(Ivoclar Vivadent, Lichtenstein)와 Adper™ Prompt™ L-Pop™(3M-ESPE, USA)을 이용하였다(Table 1).

3) 수복용 복합레진

3M-ESPE 사의 Filtek™ Z250(A2 shade)를 충전제로 이용하였다.

Table 1. Composition of dentin bonding agents

Dentin Bonding Agent	Composition	
Adper™ Single bond Plus	silica nanofiller, Bis-GMA, HEMA, dimethacrylates, ethanol, water, a novel photoinitiator system, methacrylate functional copolymer of poly-acrylic and polyitaconic acids	
AdheSE®	Primer	phosphoric acid acrylate Bis-acrylamide water Initiators and stabilizers
	Bond	dimethacrylates HEMA highly dispersed silicone dioxide initiators and stabilizers
	Activator	solvent initiators
Adper™ Prompt™ L-Pop™	Liquid 1	methacrylated phosphoric esters, Bis-GMA, initiators based on camphoroquinone, stabilizers
	Liquid 2	water, HEMA, polyalkenoic acid, stabilizers

Table 2. Group distribution for aging treatment condition

Group	Description
I	Stored in saline for 24 hours after light curing
II	Group I + Thermocycled 5000 times
III	Group II + Artificial tooth brushing 20000 times
IV	Group III + Stored in 37°C artificial saliva for 6 months

Table 3. Specification of Skyscan 1172 Micro CT

Content	Description
X-ray source	20-100 kV, 10W, < 5 μm spot size or 20-80 kV, 8 W, < 8 μm spot size
X-ray detector	11 Mp, 12-bit cooled CCD fiber-optically coupled to scintillator
Maximum object size	27 mm in diameter(single scan) or 50 mm in diameter (offset scan)
Detail detectability	< 0.8 μm at highest resolution

2. 연구 방법

1) 복합레진 충전

치아에 형성한 V급 와동에 상아질 접착제를 제조사의 지시에 따라 적용하고 수복용 복합레진을 충전하였다. 제조사의 지시에 따라 충전후 Elipar™ Freelight 2(3M-ESPE, USA) LED 광중합기를 이용하여 20초간 광중합하였다. Elipar™ Freelight 2 광중합기는 10회 촬영 시 매번 동일한 광량으로 조사되고 있는지 Radiometer®(DentAmerica, USA)를 이용하여 광량을 측정하였다. 광중합 후 Sof-Lex™(3M-ESPE, USA) 디스크형을 이용하여 와동의 변연을 덮고 있는 과잉 재료를 제거하였다.

연마한 시편은 생리식염수에 침지하여 37°C로 설정한 항온기에 24시간 보관하였다.

2) 시효처리

재료를 이용하여 충전한 각 시편을 시효처리 방법에 따라 4개의 군으로 나누었다(Table 2).

상아질 접착제별로 10개의 시편을 준비하여 군당 30개의 시편을 마련하였다.

각 군의 처리방법에 따라 시효처리 하였다.

II군 - 열 순환은 열 순환기(東京技研, Japan)를 이용하여 5°C와 55°C에서 각각 60초간 침지하였다.

III군 - 인공적인 칫솔질은 Tooth brushing machine(비전 과학, 한국) 기기를 이용하였다.

Table 4. Image capture conditions using Skyscan 1172 Micro CT

Content	Value
Source Voltage	80 kV
Source Current	100 μA
Image Pixel size	8 μm
Depth	16 bits
Exposure	10 sec
Filter	0.5 mm Aluminum filter

IV군 - 6개월간 인공 타액에 보관한 시편은 2일 간격으로 타액을 교환해주었다.

3) 미세누출 측정

시효처리가 끝난 시편은 수복재료와 치질경계면에서 1 mm 거리를 두고 nail varnish를 이용하여 2회 도포하였다. 이후 50% 질산은(DAEJUNG chemicals & metals co, Republic of Korea)이 담긴 용기에 24시간 침지하였다. 24시간 침지 이후에 초음파 세척기에 넣어 표면의 질산은을 제거하였다. 미세누출량을 측정하기 위하여 사용한 MicroCT는 Skyscan 1172 (Aartselaar, Belgium)모형을 이용하였다. Skyscan 1172의 재원은 다음과 같다(Table 3).

치아 시편의 이미지는 Table 4의 조건으로 촬영하였다.

4) 분석

MicroCT로 촬영한 Raw 파일을 16비트 BMP 파일로 변환하였으며 촬영한 이미지는 세로로 절편한 Raw 상태의 2차원 이미지로 BMP 이미지를 3차원적으로 관찰하기 위하여 순차적인 수직적 절단 이미지를 재배열하였으며 수직 절단 이미지를 배열하여 얻은 3차원 구조물을 수평적 단면으로 관찰하였다. CTAn MicroCT analyzer(Skyscan, Belgium)를 이용하여 절산은 부위의 값을 3차원으로 측정하여 그 부피를 측정하였으며 얻어진 값은 SPSS ver. 15.0(SPSS, USA) 분석프로그램을 이용하여 Kruskal-Wallis test로 분석하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 상아질 접착제에 따른 군 간 변화

1) Adper™ Single bond Plus

Adper™ Single bond Plus를 적용한 군 가운데 III군에서 평균 미세누출이 가장 많았으며 I군에서 평균 미세누출이 가장 적었다(Table 5).

막대 그래프는 시효처리 과정에 따라 II군과 III군에서 미세누출의 양이 많아지고 IV군에서 미세누출이 줄어든 것을 보여준다.

군 간 미세누출의 비교에서 I군은 II군과 유의한 차이가 있었고 ($p < 0.05$) IV군은 II군, III군과 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$)(Table 6).

2) AdheSE®

AdheSE®를 이용한 경우 III군에서 평균 미세누출이 가장 많았으며 II군에서의 평균 미세누출이 가장 적었다(Table 7).

그래프는 시효처리 과정에서의 변화상을 보여준다.

네 개의 군 간 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Table 8).

Table 5. Microleakage volume within specimens using Adper™ Single bond Plus

Group	Mean ± STD (mm ³)
I	0.04 ± 0.07
II	0.08 ± 0.11
III	0.15 ± 0.18
IV	0.05 ± 0.13

Table 6. Statistical comparison of microleakage among the groups using Adper™ Single bond Plus dentin bonding agent

	Group I	Group II	Group III	Group IV
Group I				
Group II	*			
Group III				
Group IV		*	*	

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

3) Adper™ Prompt™ L-Pop™

Adper™ Prompt™ L-Pop™ 을 적용한 시편에서는 II군에서 평균 미세누출이 가장 많았으며 III군에서 평균 미세누출이 가장 적었다(Table 9).

막대 그래프는 열 순환 이후에 미세누출의 양이 증가하였고 이후에 미세누출의 양이 감소한 것을 보여준다.

군 간 비교에서 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$)(Table 10).

2. 시효처리에 따른 상아질 접착제의 미세누출

1) I군

Adper™ Single bond Plus의 평균 미세누출이 가장 적었으며 Adper™ Prompt™ L-Pop™, AdheSE®의 순으로 평균 미

Table 7. Microleakage volume within specimens using AdheSE®

Group	Mean ± STD (mm ³)
I	0.49 ± 0.36
II	0.35 ± 0.43
III	0.62 ± 0.64
IV	0.53 ± 0.77

Table 8. Statistical comparison of microleakage among the groups using AdheSE® dentin bonding agent

	Group I	Group II	Group III	Group IV
Group I				
Group II				
Group III				
Group IV				

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

Table 9. Microleakage volume within specimens using Adper™ Prompt™ L-Pop™

Group	Mean ± STD (mm ³)
I	0.15 ± 0.16
II	0.21 ± 0.27
III	0.06 ± 0.10
IV	0.09 ± 0.22

Table 10. Statistical comparison of microleakage among the groups using Adper™ Prompt™ L-Pop™ dentin bonding agent

	Group I	Group II	Group III	Group IV
Group I				
Group II				
Group III				
Group IV				

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

세누출이 많았다(Table 11).

AdheSE[®]는 Adper[™] Single bond Plus와 Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™]에 비해 미세누출이 많았으며 통계학적으로 유의하였다($p < 0.05$)(Table 12).

MicroCT를 이용하여 미세누출이 발생한 부위를 관찰하고 분류하였다(Table 13).

Adper[™] Single bond Plus에서는 8개의 시편에서 상아질 미세누출이 나타났고 AdheSE[®]는 모든 시편에서 상아질 미세

누출이 나타났으며, 그 가운데 1개의 시편은 상아질과 법랑질 모두에서 미세누출이 나타났다. Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™]은 법랑질에만 미세누출이 나타난 시편이 2개, 상아질과 법랑질 모두에서 미세누출이 나타난 시편이 8개로 모든 시편에서 법랑질 미세누출이 발생했다.

Adper[™] Single bond plus의 상아질 미세누출(Fig. 1)과 AdheSE[®]의 상아질 미세누출(Fig. 2)의 모습이다.

Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™]은 동일한 시편에서 상아질(Fig. 3)과 법랑질(Fig. 4) 모두에서 미세누출이 나타났다.

Table 11. Microleakage volume within Group I

Dentin Bonding Agent	Mean ± STD (mm ³)
Single bond Plus	0.04 ± 0.07
AdheSE	0.49 ± 0.36
Prompt L-Pop	0.15 ± 0.16

Table 12. Statistical comparison of microleakage among the three dentin bonding agents within Group I

	Single bond Plus	AdheSE	Prompt L-Pop
Single bond Plus			
AdheSE	*		
Prompt L-Pop		*	

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

Table 13. The number of specimen with the origin of microleakage for each dentin bonding agent within Group I

	No leakage	Enamel	Dentin	Enamel + Dentin
Single bond Plus	2		8	
AdheSE			9	1
Prompt L-Pop		2		8

2) II군

II군에서는 Adper[™] Single bond Plus의 평균 미세누출이 가장 적었으며 Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™], AdheSE[®]의 순으로 미세누출이 많았다(Table 14).

II군에서는 군 간 유의한 차이가 없었다($p < 0.05$)(Table 15).

Table 14. Microleakage volume within Group II

Dentin Bonding Agent	Mean ± STD (mm ³)
Single bond Plus	0.08 ± 0.11
AdheSE	0.35 ± 0.43
Prompt L-Pop	0.21 ± 0.27

Table 15. Statistical comparison of microleakage among the three dentin bonding agents within Group II

	Single bond Plus	AdheSE	Prompt L-Pop
Single bond Plus			
AdheSE			
Prompt L-Pop			

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

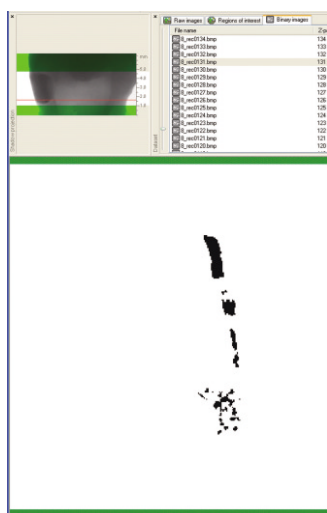


Fig. 1. Silver-nitrate shown at the dentin portion using Adper[™] Single bond plus dentin bonding agent from Group I.

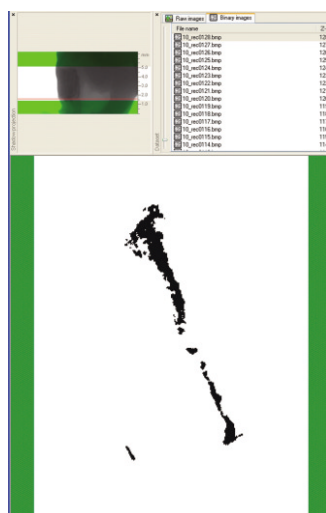


Fig. 2. Silver-nitrate shown at the dentin portion within specimen using AdheSE[®] dentin bonding agent from Group I.



Fig. 3. Silver-nitrate shown at the dentin portion using Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™] dentin bonding agent from Group I.



Fig. 4. Silver-nitrate shown at the enamel portion using Adper[™] Prompt[™] L-Pop[™] dentin bonding agent from Group I.

II군의 미세누출 양상에서 Adper™ Single bond Plus에서는 9개의 시편에서 상아질 미세누출이 나타났고 AdheSE®는 모든 시편에서 상아질 미세누출이 나타났으며, 그 가운데 1개의 시편은 상아질과 법랑질 모두에서 미세누출이 나타났다. Adper™ Prompt™ L-Pop™은 법랑질에만 미세누출이 나타난 시편이 1개, 상아질과 법랑질 모두에서 미세누출이 나타난 시편이 6개였다(Table 16).

Adper™ Single bond plus의 상아질에서 나타난 미세누출(Fig. 5)과 Adper™ Prompt™ L-Pop™의 상아질에서 나타난 미세누출(Fig. 6)의 모습이다.

AdheSE®는 법랑질에서 발생한 미세누출(Fig. 7)이 와동 벽을 타고 확장되는 양상을 보이고 있다(Fig. 8).

3) III군

III군에서는 Adper™ Prompt™ L-Pop™의 평균 미세누출의

Table 16. The number of specimen with the origin of microleakage for each dentin bonding agent within Group II

	No leakage	Enamel	Dentin	Enamel + Dentin
Single bond Plus	1		9	
AdheSE			9	1
Prompt L-Pop	2	1	6	1

Table 17. Microleakage volume within Group III

Dentin Bonding Agent	Mean ± STD (mm ³)
Single bond Plus	0.15 ± 0.18
AdheSE	0.62 ± 0.64
Prompt L-Pop	0.06 ± 0.10

양이 가장 적었으며 Adper™ Single bond Plus, AdheSE®의 순으로 평균 미세누출이 많았다(Table 17).

AdheSE®는 Adper™ Single bond Plus와 Adper™ Prompt™ L-Pop™에 비하여 통계학적으로 유의하게 미세누출이 많았다($p < 0.05$)(Table 18).

III군에서는 Adper™ Single bond Plus를 이용한 시편 중 3개의 시편에서 미세누출이 나타나지 않았고 7개의 시편에서 상아질 미세누출이 나타났다. AdheSE®는 1개를 제외한 모든 시편에서 상아질 미세누출이 나타났으며 Adper™ Prompt™ L-Pop™은 법랑질에서만 미세누출이 나타난 시편 4개, 법랑질과 상아질 모두에서 미세누출이 나타난 시편이 2개였으며 미세누출이 나타나지 않은 시편이 1개였다(Table 19).

Adper™ Single bond plus의 상아질에서 나타난 미세누출(Fig. 9)과 AdheSE®의 상아질에서 나타난 미세누출(Fig. 10)의 모습이다.

Table 18. Statistical comparison of microleakage among the three dentin bonding agents within Group III

	Single bond Plus	AdheSE	Prompt L-Pop
Single bond Plus			
AdheSE	*		
Prompt L-Pop		*	

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

Table 19. The number of specimen with the origin of microleakage for each dentin bonding agent within Group III

	No leakage	Enamel	Dentin	Enamel + Dentin
Single bond Plus	3		7	
AdheSE	1		9	
Prompt L-Pop	1	4	3	2

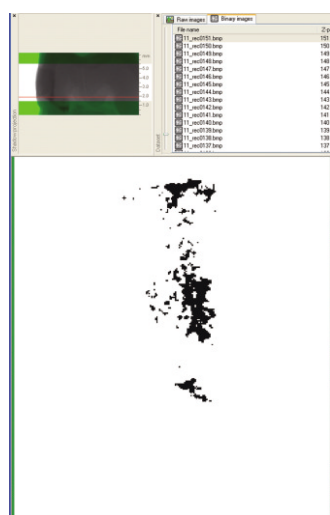


Fig. 5. Silver-nitrate shown at the dentin portion using Adper™ Single Bond Plus dentin bonding agent from Group II.

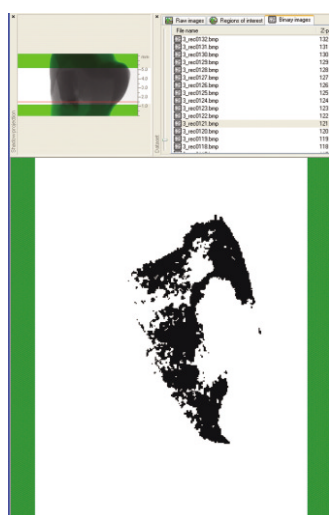


Fig. 6. Silver-nitrate shown at the dentin portion using Adper™ Prompt™ L-Pop™ dentin bonding agent from Group II.

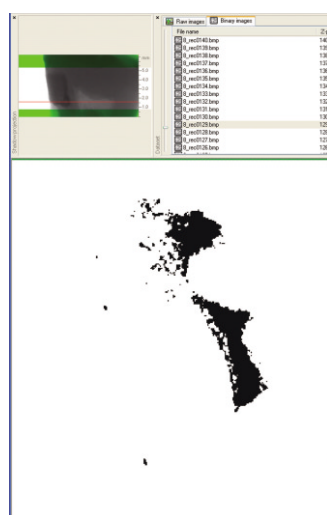


Fig. 7. Microleakage started from dentin portion within specimen using AdheSE® dentin bonding agent from Group II.

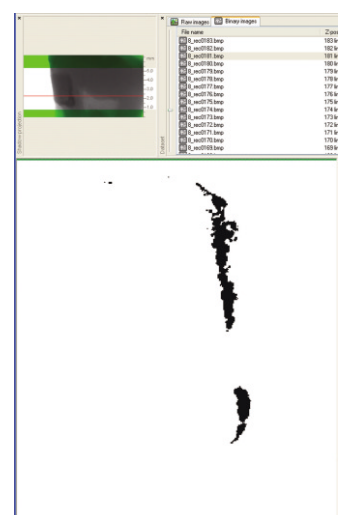


Fig. 8. Microleakage extended to the cavity wall of the specimen using AdheSE® dentin bonding agent from Group II.

일부 AdheSE®의 상아질 미세누출이 와동 벽을 넘어 치수 부 위까지 침투하는 양상을 보인다(Fig. 11). Adper™ Prompt™ L-Pop™을 이용한 일부 시편에서는 법랑질에서 미세누출을 보였다(Fig. 12).

4) IV군

IV군에서는 Adper™ Single bond Plus의 평균 미세누출의 양이 가장 적었으며 Adper™ Prompt™ L-Pop™, AdheSE®의 순으로 평균 미세누출이 많았다(Table 20).

Adper™ Single bond Plus는 AdheSE®와 Adper™ Prompt™ L-Pop™에 비해 유의하게 미세누출의 양이 적었다 ($p < 0.05$) (Table 21).

Adper™ Single bond Plus는 6개의 시편에서 미세누출이 나타나지 않았으며 AdheSE®는 7개 시편에서 상아질 미세누출이 나타났다. Adper™ Prompt™ L-Pop™은 미세누출이 나타나지 않은 시편이 1개, 법랑질에서만 미세누출이 나타난 시편이 2개, 법랑질과 상아질 모두에서 미세누출이 나타난 시편이 7개로 1개를 제외한 모든 시편에서 법랑질 누출이 나타났다 (Table 22).

Adper™ Single bond Plus의 상아질 적은 미세누출을 보여주며(Fig. 13) AdheSE®의 상아질 미세누출을 보여준다(Fig. 14).

Adper™ Prompt™ L-Pop™은 동일 시편 내에서 상아질 (Fig. 15)과 법랑질(Fig. 16) 모두에서 미세누출이 나타났다.

IV. 총괄 및 고찰

Wendt 등³⁰⁾은 열 순환을 시행한 경우 상아질 미세누출의 양이 크게 증가한다고 하였으며 이는 열팽창의 차이에 있어 법랑질-복합레진보다 상아질-복합레진에서의 차이가 더 크기 때문이라고 하였고 이러한 요소들에 의해서 상아질에서 미세누출이 더 증가한다고 하였다. MicroCT를 이용하여 미세누출을 계산한 결과 Adper™ Single bond Plus에서는 II군과 III군에서 미세누출이 많아졌으며 IV군에서는 미세누출이 감소하였다. 미세누출 평균값이 II군에 비하여 III군이 컸으나 표준편차 또한 증

Table 21. Statistical comparison of microleakage among the three dentin bonding agents within Group IV

	Single bond Plus	AdheSE	Prompt L-Pop
Single bond Plus			
AdheSE	*		
Prompt L-Pop	*		

Kruskal-Wallis test (* : $p < 0.05$)

Table 20. Microleakage volume within Group IV

Dentin Bonding Agent	Mean ± STD (mm ³)
Single bond Plus	0.05 ± 0.13
AdheSE	0.53 ± 0.77
Prompt L-Pop	0.09 ± 0.22

Table 22. The number of specimen with the origin of microleakage for each dentin bonding agent within Group IV

	No leakage	Enamel	Dentin	Enamel + Dentin
Single bond Plus	6	1	3	
AdheSE	2	1	7	
Prompt L-Pop	1	2		7

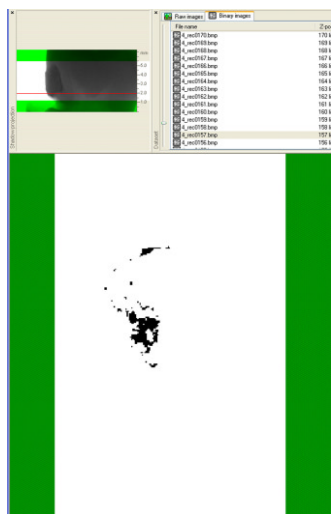


Fig. 9. Silver-nitrate shown at the dentin portion using Adper™ Single bond plus dentin bonding agent from Group III.

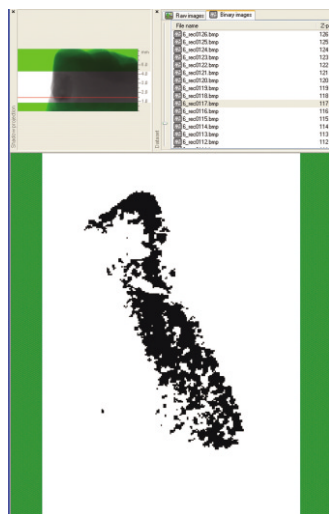


Fig. 10. Silver-nitrate shown at the dentin portion using AdheSE® dentin bonding agent from Group III.

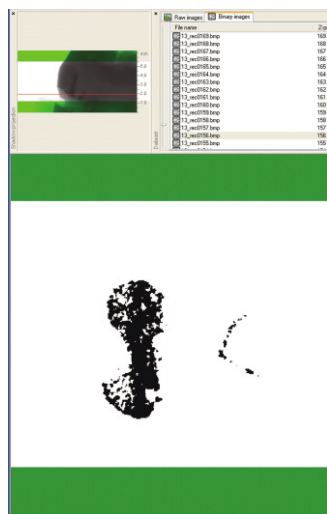


Fig. 11. Specimen using AdheSE® from Group III showed extended microleakage within dentin portion up to pulp chamber.

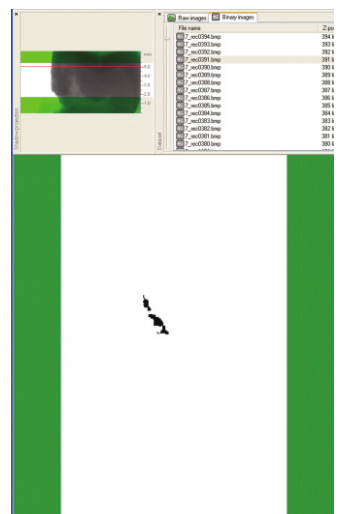


Fig. 12. Silver-nitrate infiltration at enamel margin using Adper™ Prompt™ L-Pop™, dentin bonding agent from Group III.

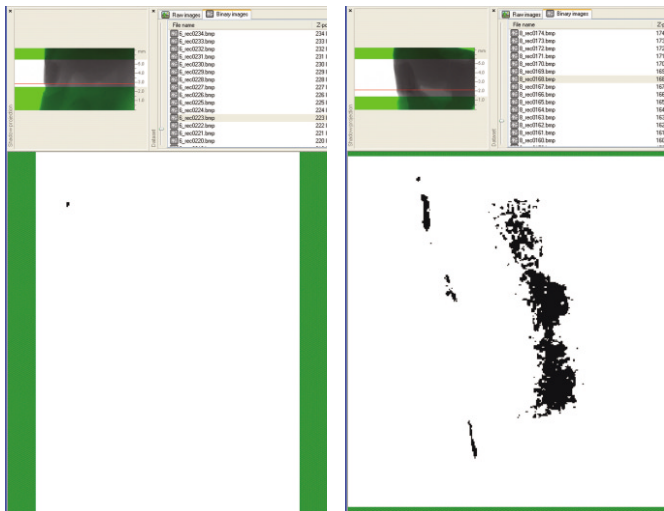


Fig. 13. Silver-nitrate infiltration within Adper™ Single Bond Plus showed least microleakage at the dentin margin from Group IV.

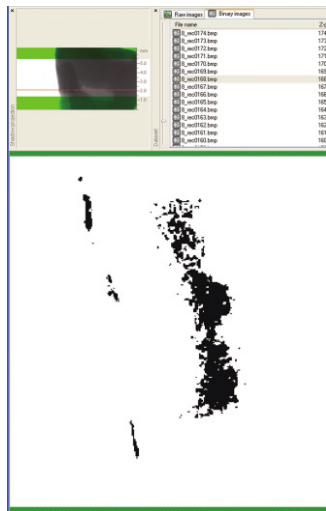


Fig. 14. Silver-nitrate shown at the dentin portion using AdheSE® dentin bonding agent from Group IV.

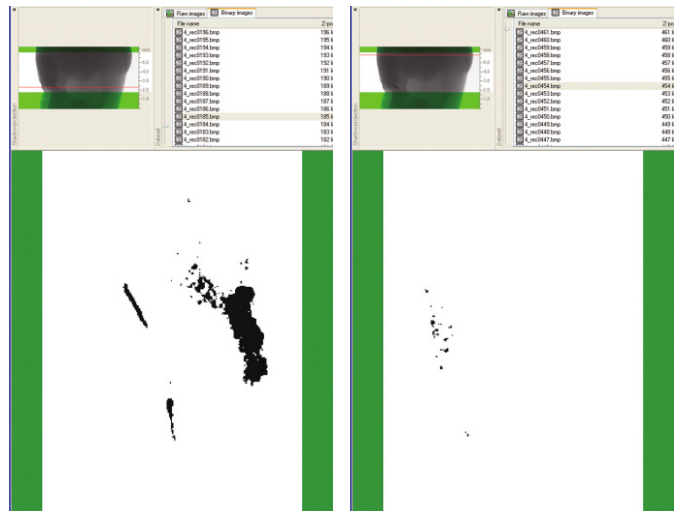


Fig. 15. Microleakage within dentin portion of specimen using Adper™ Prompt™ L-Pop™ dentin bonding agent of Group IV.



Fig. 16. Microleakage within enamel portion of specimen using Adper™ Prompt™ L-Pop™ dentin bonding agent of Group IV.

가하여 I군과 III군 간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 양상은 미세누출이 발생한 위치가 대부분 상아질인 것으로 설명할 수 있다(Table 13, 16, 19). AdheSE®는 시효처리가 미세누출의 양적 변화에 영향을 주지 않았고 Adper™ Prompt™ L-Pop™은 I군에 비하여 II군에서 미세누출 평균값이 증가하였고 III군과 IV군에서 감소하였으나 군 간 유의한 차이가 없었으며 IV군에서는 평균값이 작음에도 불구하고 표준편차가 크게 나타났다. 또한 평균 미세누출량이 많은 II군에서는 상아질 미세누출이 차지하는 비율이 높았으나 III군과 IV군에서는 법랑질 미세누출의 비율이 증가하였다.

군 간 비교에서 I군의 Adper™ Single bond Plus는 상아질 미세누출의 비율이 높았으며 질산은이 와동 벽의 끝까지 침투한 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 1). 반면 Adper™ Prompt™ L-Pop™은 법랑질에서 미세누출이 나타났으며 그 침투 정도는 깊지 않고 흩어지는 양상이었다(Fig. 4). AdheSE®를 이용한 시편은 모든 군에서 다른 두 상아질 접착제에 비하여 많은 미세누출량을 나타냈으며 40개 중 네 개를 제외하고 모두 상아질에서의 미세누출을 관찰할 수 있었고 상아질에서 시작한 미세누출은 와동 벽을 타고 상방으로 이동하는 양상을 보였다(Fig. 8). 이러한 AdheSE®의 상아질 미세누출 양상은 수치상의 증가를 유발하게 되었다. AdheSE®는 I형 6세대 상아질 접착제로 휘발성 용매를 포함하고 있지 않다. 이러한 특징은 아세트산과 같이 휘발성이 강한 용매를 포함하는 상아질 접착제에 비해서는 두껍게 도포될 가능성이 높다. Choi³¹⁾는 복합레진의 수복에 사용하는 상아질 접착제의 두께가 증가할수록 중합 시 발생하는 응력의 상당부분을 해소할 수 있지만, 두꺼운 상아질 접착제는 의력에 의해 붕괴가 되어 또 다른 형태의 수복실패를 유발할 수

도 있다고 하였다. Pereira 등³²⁾은 휘발성이 좋은 아세트산을 용매로 사용한 상아질 접착제가 더 얇은 층을 형성하기 때문에 미세누출의 양을 줄여줄 수 있다고 하였다. 하지만 실제 임상에서는 wet한 상태를 유지시키는 어려움으로 인하여³³⁾ 탈수에 의하여 형태가 파괴된 콜라겐 섬유 회복을 위해 용매에 물을 포함하고 있어 추가적인 물의 추가가 필요하지 않은 상아질 접착제가 이용되고 있다. III군에서 Adper™ Single bond Plus는 법랑질에서의 미세누출이 나타난 시편이 많지 않음에도 불구하고 미세누출의 양이 상대적으로 많게 계산되었는데 이것은 상아질에서의 미세누출의 양이 많았음을 나타낸다. AdheSE®를 적용한 시편 중에 상아질 변연에서 와동 벽을 넘어 치수강에 근접하는 과도한 미세누출을 보이는 시편이 나타났다(Fig. 11). 반면에 Adper™ Prompt™ L-Pop™을 이용한 시편의 상아질 변연에서 관찰한 미세누출은 질산은 입자가 와동 벽면으로 치우친 형태가 아닌 골고루 퍼져있는 양상을 보였다. 이는 질산은 입자가 상아질로 침투하는 것이 용이하지 않았음을 나타낸다. 법랑질과 상아질이 수복재료와 결합하는 양상의 차이³⁰⁾를 이용해 이러한 현상에 대한 설명이 가능하며 Olmez 등³⁴⁾은 법랑질에서의 결합에 비해 상아질에서의 결합은 예측이 어려우며 불규칙한 경향이 많다고 하였다. IV군에서 Adper™ Prompt™ L-Pop™의 미세누출량은 AdheSE®에 비해 적게 나타났지만 미세누출이 발생한 9개의 시편 모두 법랑질에서 미세누출이 나타났(Table 19). Adper™ Prompt™ L-Pop™을 이용한 시편에서 상아질 미세누출 양상은 III군에서 관찰한 질산은의 위치보다는 와동 벽 쪽으로 이동해 있었으나 완전히 인접하지는 않았다(Fig. 15).

Frankenburger³⁵⁾의 연구에 의하면 4세대 상아질 접착제의

미세누출의 양이 가장 적었으며 5세대 상아질 접착제, 6세대 상아질 접착제로 갈수록 미세누출량이 증가한다고 하였다. 4세대 상아질 접착제의 임상적인 효율성은 이미 증명이 되었으나 세분화된 재료의 적용과정으로 인하여 매 단계마다 발생할 수 있는 오류를 고려한다면 단계의 숫자가 늘어날수록 수복의 실패로 이어질 가능성 또한 증가하게 된다^{36,37}. 산부식제와 전처리제를 하나로 합친 형태의 5세대 상아질 접착제는 전처리제와 본딩제를 합친 상아질 접착제에 비하여 미세누출의 양이 더 많은 것으로 보고되고 있으며 이는 산부식제가 잔존하는 경우 오랜 시간에 걸쳐 복합레진과 치질간의 결합을 방해하는 요소로 작용하기 때문이라고 하였다³⁸. 이후에 세 가지 성분을 한 번에 적용하는 6세대 상아질 접착제로 임상적용 단계를 최소화 하는 방향으로 발전하였으며 상아질에서의 결합강도와 미세누출은 더 양호한 결과를 보여주었지만³⁹ 법랑질에서의 결합강도는 감소하고 본 실험에서 Adper™ Prompt™ L-Pop™이 보여준 결과와 같이 미세누출량은 증가하는 양상을 보였다. 상아질 접착력의 향상과 변연 폐쇄 능력의 증가뿐 아니라 법랑질에서의 적절한 크기의 결합강도를 유지하는 것이 5세대 이후에 지속적으로 개발되고 있는 재료가 해결해야 할 과제로 이러한 전제를 통해 적용단계를 간략화하는 상아질 접착제의 발전방향이 의미를 가질 것으로 사료된다.

복합레진을 이용한 수복에서 발생하는 미세누출은 수복재에서 발생하는 중합 수축과 수축 응력에 의한 것으로 이를 상쇄시키는 요소로서는 수복 재료의 흐름성의 증가, 상아질 접착제가 갖고 있는 응력 분산 효과와 복합레진이 흡수하는 수분에 의한 팽창이 있다고 하였다^{40,41}. 복합레진을 물에 침지해 놓을 경우 대부분의 복합체는 기질사이로 수분을 흡수하며⁴², Yap 등⁴³은 중합이후 1시간 안에 최대의 수축이 일어나고 24시간 이후에 팽창이 시작되어 한 달 동안 팽창이 지속되었다고 하였다. Martin 등⁴⁴의 연구에 의하면 HEMA는 친수성이기 때문에 더 많은 수분을 흡수할 수 있다고 하였다. 소수성으로만 구성된 복합레진은 수분 흡수로 인한 팽창이 거의 일어나지 않으며 복합레진의 필러의 함량이 높으면 수분 흡수로 인한 팽창이 저하된다고 하였다⁴⁵. 여러 종류의 복합레진을 이용하여 수분 흡수를 통한 팽창량 조사에 관한 Momoi 등⁴⁶의 연구에 의하면 마이크로 필러를 이용한 복합레진의 팽창이 가장 두드러졌고, 팽창하려는 힘도 강했으며 혼합형 복합레진의 팽창이 가장 적었다. 이것은 재료의 안정성과 연관된 것으로 중합 과정에서 보이는 수축과 유사한 양상을 보인다. 복합레진의 충전 방법에 따라라도 팽창률의 차이를 보였으며 적층법으로 충전하는 경우 팽창률이 증가한다고 하였다⁴⁷. 또한 침지한 용액의 종류에 따라서 팽창량의 차이가 나타난다고 하였다⁴⁸. Hirasawwa⁴⁹는 상아질 접착제를 적용하지 않은 복합레진의 충전에서도 수분이 퍼져 들어가며 팽창하는 것을 관찰하였다. Thonemann 등⁵⁰은 상아질 접착제를 사용하지 않았을 경우와 상아질 접착제를 사용했을 경우 II급 와동에서의 복합레진의 팽창 여부를 SEM을 이용하여 관찰한 결과 상아질 접착제를 사용하지 않은 경우 체적의 변화가 더 확연하게 나타나 수분 흡수를 통한 팽창이 긍정적으로

보이지만 이는 치질과 복합레진이 긴밀하게 접촉하지 못하고 있다는 의미이기도 하다고 하였다. Rüttermann과 Yap 등^{15,51}은 복합레진을 물에 침지해 놓을 경우 1%의 부피증가가 일어나지만 중합과정에서 발생하는 수축을 만회하는 수준은 아니라고 하였다. 시효처리는 수분 흡수를 통한 팽창과 같은 재료의 변화상과 함께 혼화층의 파괴같은 상아질 접착제의 변화가 복합적으로 나타나는 과정이며 본 실험에서 나타난 미세누출량의 변화양상은 이것을 반영한다. 미세누출이 존재하는 기간은 지속적인 미생물 침투의 기회를 제공하며 시효처리 이후에 미세누출의 양이 줄어든 경우에 대해서도 Huang 등⁵²이 주장한 바와 같이 복합레진의 빠르지 않은 수화팽창은 미세누출은 미생물에 의한 침투의 기회를 제공할 것으로 생각한다. 본 실험에서 Adper™ Single bond Plus과 Adper™ Prompt™ L-Pop™은 IV군에 이르러 미세누출량이 감소하는 것으로 나타났으나, I군부터 지속적으로 존재하는 미세누출은 수복실패의 가능성이 지속적으로 존재한다는 의미이며 특히 Adper™ Prompt™ L-Pop™은 앞서 시행한 시효처리에 비하여 IV군에서 법랑질 미세누출이 증가하였다. 일반적으로 재료의 수복이후에 적용하는 교합력의 재현은 그 방향이 V급 와동에 수복한 재료가 탈락하는 힘이 발생하는 방향이며 수복재료가 포함하는 필러의 함량 및 성상 또한 미세누출의 증가여부에 영향을 주는데 Frankenberg 등³⁷은 필러의 함량이 증가하고 경도가 높을수록 교합력에 의해 발생하는 미세누출의 양은 증가한다고 보고하였다. 이번 실험에서 열 순환법 이후에 적용한 인공 칫솔질 법은 I군에 비하여 유의하게 높은 미세누출을 나타내지는 않았으나 Adper™ Single bond Plus와 AdheSE®에서 평균 미세누출량이 증가하였다.

본 실험에서 사용한 MicroCT를 통해 미세누출을 정량적으로 계산할 뿐만 아니라 질산은을 따라 3차원적인 미세누출 양상을 확인할 수 있으며 와동의 벽면을 타고 발생한 미세누출이 어디에서 시작했는지 관찰이 가능했다. MicroCT를 이용해 II군의 AdheSE®를 이용한 시편에서 질산은이 와동 벽면의 전체가 아닌 모서리를 따라 상방으로 진행되는 양상을 볼 수 있었으며 (Fig. 7, 8), 이런 형태의 미세누출은 기존의 절편방법으로 관찰했다면 와동 벽을 따라 발생한 미세누출 양상은 알 수 없었을 것이다. MicroCT로 촬영한 이미지의 3차원적인 구성을 통해 기존의 시편의 절편을 통한 수치부여방법에 비해 좀 더 복잡하고 다양한 형태의 미세누출을 관찰할 수 있었다. 이러한 미세누출을 정량화한 수치는 1 mm³ 이하로 평균값과 표준편차의 크기의 차이가 눈에 띄게 나타나지 않는 수준이었다. 복합레진의 수복에 있어서 법랑질과 상아질과의 결합의 차이의 이해 없이 정량적으로 계산된 값만으로 재료간의 미세누출을 비교한다면 기존의 절편을 통하여 수치를 부여하는 미세누출 연구 방법과 상충하는 부분에 대한 분석이 어려울 것이다. 이러한 경우 법랑질과 상아질에서 발생한 미세누출 양상의 입체적인 관찰이 그 답을 제시할 수 있으며 MicroCT를 이용한 연구에 있어서 중요한 부분이라고 생각한다.

MicroCT를 이용한 미세누출 연구가 Wahab 등²⁴이 주장했

던 '표준화되고 신뢰가 높으며 서로 다른 실험의 결과를 서로 비교할 수 있는 방법'의 요구를 최대한으로 충족시키기 위해서는 기기에 따른 편차의 문제를 해결해야 할 것으로 생각된다. Eden²⁵⁾은 MicroCT를 이용한 미세누출 연구방법이 표준화되고 상호 비교 가능한 것이 되려면 좀 더 많은 연구와 통일이 필요하다고 하였다. MicroCT의 CCD 센서의 감도는 디지털 값으로의 변환 과정에 영향을 주게 된다. 실제로 본 실험에서 사용한 Skyscan 1172는 11메가 픽셀의 CCD를 갖고 있는 반면 이전 모델인 Skyscan 1072는 1메가 픽셀의 CCD를 갖고 있다. 서로 다른 최대 해상도의 CCD 센서를 갖고 있는 기기라면 해상도의 통일을 통해 더욱 의미 있는 연구 결과 간의 비교가 가능할 것이다. 촬영한 이미지에서 질산은을 제외한 나머지 부위를 제거하기 위해 대비값을 조절하는 과정에서 촬영한 이미지의 일부가 손상되는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 과정을 통해 손상되는 정보의 크기는 기존의 방법으로 시편을 절편하여 관찰하는 과정에서 놓치거나 잃게 되는 정보에 비하면 무시할 수 있는 수준이라고 생각한다. 또한 서로 다른 연구 결과를 비교하기 위해서는 MicroCT의 하드웨어적 설정값 뿐만 아니라 내장된 소프트웨어에서의 대비값의 통일이 필요할 것으로 생각된다. 또한 와동 형성의 방법에 대한 통일도 필요할 것으로 생각한다. 육면체 형태의 V급 와동을 동일한 크기로 형성하는 것은 용이하지 않은 일이며 이러한 편차를 줄이기 위하여 라운드 버를 이용하여 구형 와동을 형성하는 방법도 소개되었다. 본 연구에서는 기존의 미세누출에서 일반적으로 사용하는 와동 형성 방법을 이용하였으며 와동 크기의 편차에 따른 문제의 가능성을 최대한 배제하기 위해 와동 형성 이후에 무작위로 시편을 배분하였다. 이러한 와동 형성의 문제에도 불구하고 편차가 존재하는 와동 깊이를 기준으로 침투 정도에 수치를 부여하거나 비율로 계산하는 기존의 미세누출 측정법에 비해서 MicroCT는 더 신뢰할만한 결과를 보여준다고 생각한다. 미세누출 실험에서 와동의 크기가 커질수록 미세누출로 계산된 값이 커질 가능성이 높아지는 문제 또한 해결해야 할 과제이다. 와동의 크기와 함께 질산은 용액에 침지한 시간은 질산은 침투의 양에 영향을 준다. 질산은을 이용한 기존 미세누출 실험에서는 24시간 침지시키는 방법을 이용하였으나 Eden²⁵⁾의 2008년 MicroCT를 이용한 연구에서 4시간 침지 방법을 이용하였다. 본 연구의 실험 과정에서 과도한 미세누출이 일어난 경우 치아 내의 치수강까지 침투한 시편을 관찰하였으며 모두 상아질을 통해 미세누출이 일어났다. 미세누출의 양을 극대화하는 방법과 서로 다른 미세누출 양상을 보이는 상아질 접착제를 이용한 실험에서 그 중간점을 제시하는 것 중에 어느 방법이 더 바람직한지에 대한 논의가 필요할 것으로 생각한다. 본 연구에서는 와동 벽을 따라 발생한 미세누출의 양을 측정하고자 와동 벽을 넘어 과도하게 일어난 미세누출은 배제하고 진행하였으며 이를 정보에 포함시켜야 하는지에 대한 논의가 필요할 것으로 생각한다.

MicroCT를 이용한 미세누출 측정법은 시편의 손상이 없기 때문에 추가적인 시효처리 조건에 따른 미세누출의 양의 변화를 관찰할 수 있어 지속적으로 다른 조건을 적용시키는 종적인

연구가 가능해질 것으로 생각했다. 하지만 이번 실험을 통해 동일한 상아질 접착제를 이용한 시편에서도 시효처리 과정에서 미세누출의 양이 증가하기도 하고 감소하기도 하는 변화양상을 관찰하였으며, 종적인 연구의 타당성에 대해서는 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다. 촬영시간이 오래 걸리는 문제와 함께 MicroCT 높은 가격 또한 앞으로 해결해야 할 문제라고 생각한다. 디지털이 갖고 있는 절대값과의 차이라는 태생적인 문제를 안고 있는 데이터와 현미경을 통해 육안으로 검증 가능한 수준과 어느 것이 더 높은 신뢰도가 있는가에 대한 의문은 디지털 기술의 발달과 함께 해소될 부분으로 생각한다.

MicroCT를 이용한 미세누출 연구방법은 정량적 비교 뿐 아니라 침투양상의 관찰, 가장 깊이 침투한 곳의 확인 등이 모두 가능하므로 기존의 절편을 이용한 관찰 방법에 비하여 더 나은 방법으로 제시할 수 있을 것으로 사료되며 이를 위한 와동의 형성방법, 크기, 질산은에 침지하는 시간과 같은 전제조건을 통일을 위한 더 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

MicroCT를 이용하여 세 가지 상아질 접착제를 이용한 시편에 네 가지 다른 조건의 시효처리 후 미세누출의 양을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

시효처리가 미세누출의 양을 반드시 증가시키는 것은 아니었으며 Adper™ Single bond Plus의 경우 가장 많은 시효처리를 시행한 IV군에서 미세누출이 감소하였다. AdheSE®와 Adper™ Prompt™ L-Pop™을 이용한 시편에서는 시효처리간 차이가 없었다($p > 0.05$).

MicroCT를 이용한 정량적인 분석에서 각 군의 시효처리 과정을 통해 5세대 상아질 접착제는 6세대 상아질 접착제와 비슷하거나 더 나은 미세누출 억제 효과가 있었다. 또한 6세대 Prompt L-Pop은 모든 시효처리군에서 범랑질과 상아질에서 동시에 미세누출이 발생하는 것을 관찰할 수 있었다.

References

1. Bayne SC, Heymann HO, Swift EJ Jr. : Update on dental composite restorations. *J Am Dent Assoc*, 125:687-701, 1994.
2. Dauvillier BS, Aarnts MP, Feilzer AJ : Developments in shrinkage control of adhesive restoratives. *J Esthet Dent*, 12:291-299, 2000.
3. Davy KW, Karachandra S, Pandain MS, et al. : Relationship between composite matrix molecular structure and properties. *Biomaterials*, 19:2007-2014, 1998.
4. Venhoven BA, de Gee AJ, Davidson CL : Polymerization contraction and conversion of light curing Bis-GMA based methacrylate resins. *Biomaterials*,

- 14:871-875, 1993.
5. Venhoven BA, de Gee AJ, Davidson CL : Light initiation of dental resins : dynamics of the polymerization. *Biomaterials*, 17:2313-2318, 1996.
 6. Li Y, Swartz ML, Phillips RW, *et al.* : Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res*, 64:1396-1401, 1985.
 7. Goldman M : Polymerization shrinkage of resin-based restorative materials. *Aust Dent J*, 28:156-161, 1983.
 8. Obici AC, Sinhoreti MAC, de Goes MF, *et al.* : Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. *Oper Dent*, 27:192-198, 2002.
 9. Sakaguchi RL, Ferracane JL : Stress transfer from polymerization shrinkage of a chemical-cured composite bonded to a pre-cast composite substrate. *Dent Mater*, 14:106-111, 1998.
 10. Puckett AD, Smith R : Method to measure the polymerization shrinkage of light-cured composites. *J Prosthet Dent*, 68:56-58, 1992.
 11. Bowen RL, Nemoto K, Rapson JE : Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissue : forces developing in composite materials during hardening. *J Am Dent Assoc*, 106:475-477, 1983.
 12. Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Boyer DB : Effect of stepped light intensity on polymerization force and conversion in a photoactivated composite. *J Esthet Dent*, 12:23-32, 2000.
 13. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB : Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent*, 10:88-96, 1997.
 14. Sakaguchi RL, Douglas WH : Strain gauge measurement of polymerization shrinkage. *J Dent Res*, 68:977, 1989.
 15. Rüttermann S, Krüger S, Raab WH, *et al.* : Polymerization shrinkage and hygroscopic expansion of contemporary posterior resin-based filling materials—a comparative study. *J Dent*, 35:806-813, 2007.
 16. Kim YK, Kim JS, Yoo SH : Comparison of polymerization shrinkage and strain stress of several composite resin using strain gauge. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 31: 516-525, 2004.
 17. Ilie N, Jelen E, Clementino-Luedemann T, *et al.* : Low-shrinkage composite for dental application. *Dent Mater J*, 26:149-155, 2007.
 18. Buonocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 34:849-853, 1955.
 19. Davidson CL, Feilzer AJ : Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent*, 25:435-440, 1997.
 20. Eick JD, Welch FH : Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int*, 17:103-111, 1986.
 21. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL : Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent*, 59:297-300, 1988.
 22. Suliman AH, Boyer DB, Lakes RS : Polymerization shrinkage of composite resins : comparison with tooth deformation. *J Prosthet Dent*, 71:7-12, 1994.
 23. Raskin A, D'Hoore W, Gonthier S, *et al.* : Reliability of in vitro microleakage tests: a literature review. *J Adhes Dent*, 3:295-308, 2001.
 24. Wahab FK, Shaini FJ, Morgano SM : The effect of thermocycling on microleakage of several commercially available composite Class V restorations in vitro. *J Prosthet Dent*, 90:168-174, 2003.
 25. Eden E, Topaloglu-Ak V, Cuijpers V, *et al.* : Micro-CT for measuring marginal leakage of Class II resin composite restorations in primary molars prepared in vivo. *Am J Dent*, 21:393-397, 2008.
 26. Rossomando KJ, Wendt SL Jr. : Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. *Dent Mater*, 11:47-51, 1995.
 27. Burgess JO, Alvarez AN, Stattemiller S : Shear bond strength of five dental bonding agents. *J Dent Res*, 72:387, 1993.
 28. Kraivixien R, Jaochkarairi P, Nathanson D : Effect of aging on bond strength of dentin adhesives in vitro. *J Dent Res*, 72:282, 1993.
 29. Gary AC : Effect of aging on microleakage of restorative systems. *J Dent*, 6:192-194, 1993.
 30. Hirasawa T, Hirano S, Hirabayashi S, *et al.* : Initial dimensional change of composites in dry and wet conditions. *J Dent Res*, 62:28-31, 1983.
 31. Choi, KK : The effect of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res*, 79:812-817, 2000.
 32. Pereira PN, Okuda M, Nakajima M, *et al.* : Relationship between bond strength and nanoleakage : Evaluation of a new assessment method. *Am J Dent*, 14:100-105, 2001.
 33. Tay FR, Gwinnett AJ, Wei SH : The overwet phe-

- nomenon : A scanning electron microscopic study of surface moisture in the acid-conditioned, resin-dentin interface. *Am J Dent*, 9:109-114, 1996.
34. Olmez A, Oztaş N, Bilici S : Microleakage of resin composite restorations with glass-ceramic inserts. *Quintessence Int*, 29:725-729, 1998.
 35. Wendt SL, McInnes PM, Dickinson GL : The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater*, 8:181-184, 1992.
 36. Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A : Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent*, 25:324-330, 2000.
 37. Frankenberger R, Tay FR : Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. *Dent Mater*, 21:397-412, 2005.
 38. Guéders AM, Charpentier JF, Albert AI, *et al.* : Microleakage after thermocycling of 4 etch and rinse and 3 self-etch adhesives with and without a flowable composite lining. *Oper Dent*, 31:450-455, 2006.
 39. Yoo SH, Kim JS : The Study on the microleakage of the restoration with self etching priming/bonding agent. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 31:26-33, 2004.
 40. Frankenberger R, Perdigão J, Rosa BT, *et al.* : "No-bottle" vs "multi-bottle" dentin adhesives—a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater*, 17:373-380, 2001.
 41. Carvalho RM, Pereira JC, Yoshiyama M, *et al.* : A review of polymerization contraction: the influence of stress development versus stress relief. *Oper Dent*, 21:17-24, 1996.
 42. Braden M, Causton EE, Clarke RL : Diffusion of water in composite filling materials. *J Dent Res*, 55:730-732, 1976.
 43. Yap AU, Wang HB, Siow KS, *et al.* : Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. *Oper Dent*, 25:98-103, 2000.
 44. Martin N, Jedynekiewicz N : Measurement of water sorption in dental composites. *Biomaterials*, 19:77-83, 1998.
 45. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL : Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res*, 69:36-39, 1990.
 46. Momoi Y, McCabe JF : Hygroscopic expansion of resin based composites during 6 months of water storage. *Br Dent J*, 5:91-96, 1994.
 47. Calais JG, Söderholm KJ : Influence of filler type and water exposure on flexural strength of experimental composite resins. *J Dent Res*, 67:836-840, 1988.
 48. Martin N, Jedynekiewicz NM, Fisher AC : Hygroscopic expansion and solubility of composite restoratives. *Dent Mater*, 19:77-86, 2003.
 49. Segura A, Donly KJ : In vitro posterior composite polymerization recovery following hygroscopic expansion. *J Oral Rehabil*, 20:495-499, 1993.
 50. Thonemann BM, Federlin M, Schmalz G, *et al.* : SEM analysis of marginal expansion and gap formation in Class II composite restorations. *Dent Mater*, 13:192-197, 1997.
 51. Yap AU, Shah KC, Chew CL : Marginal gap formation of composites in dentine: effect of water storage. *J Oral Rehabil*, 30:236-242, 2003.
 52. Huang C, Tay FR, Cheung GS, *et al.* : Hygroscopic expansion of a compomer and a composite on artificial gap reduction. *J Dent*, 30:11-19, 2002.

국문초록

시효처리가 복합레진 수복물의 미세누출에 미치는 영향에 관한 연구

유승훈

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

본 연구는 시효처리가 세 가지 상아질 접착제의 미세누출에 미치는 영향을 MicroCT를 이용하여 조사하였다. 5세대 상아질 접착제인 Adper™ Single bond Plus(3M-ESPE, USA)와 6세대 상아질 접착제인 AdheSE®(Ivoclar Vivadent, Lichtenstein)와 Adper™ Prompt™ L-Pop™(3M-ESPE, USA)을 이용하였다. 세 가지 상아질 접착제를 이용하여 3M-ESPE 사의 Filtek™ Z250을 V급 와동에 수복하고 24시간 생리식염수에 보관한 군(I군), 열 순환을 시행한 군(II군), 인공 칫솔질 법을 적용한 군(III군), 인공 타액에 6개월간 보관한 군(IV군)으로 분류하였다.

Adper™ Single bond Plus를 이용한 시편은 II군과 III군에서 미세누출의 양이 늘어났으며 IV군에서 감소하였다. I군에 비해 II군이 많은 미세누출을 보였으며($p < 0.05$), II군과 III군에 비하여 IV에서 적은 미세누출을 보였다($p < 0.05$). AdheSE®를 이용한 시편은 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). Adper™ Prompt™ L-Pop™을 이용한 시편은 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

I군에서는 AdheSE®가 Adper™ Single bond Plus와 Adper™ Prompt™ L-Pop™에 비해 미세누출이 많다($p < 0.05$). II군에서는 상아질 접착제간 차이가 없었다($p > 0.05$). III군에서는 AdheSE®가 Adper™ Single bond Plus와 Adper™ Prompt™ L-Pop™에 비해 미세누출이 많았다($p < 0.05$). IV군에서는 Adper™ Single bond Plus에 비해 AdheSE®와 Adper™ Prompt™ L-Pop™의 미세누출이 많았다($p < 0.05$).

주요어: 미세누출, 상아질 접착제, 시효처리, MicroCT, 복합레진

www.kci.go.kr