

레진 시멘트의 film thickness가 간접 복합 레진 수복물의 접착 효율에 미치는 영향에 관한 연구

이상혁 · 최기운 · 최경규*

경희대학교 대학원 치의학과 치과보존학교실

ABSTRACT

EFFECT OF FILM THICKNESS OF RESIN CEMENT ON BONDING EFFICIENCY IN INDIRECT COMPOSITE RESTORATION

Sang-Hyuck Lee, Gi-Woon Choi, Kyung-Kyu Choi*

Department of Conservative Dentistry, Division of Dentistry, Graduate of Kyung Hee University, Seoul, Korea

The purpose of this study was to evaluate the effect of film thickness of various resin cements on bonding efficiency in indirect composite restoration by measurement of microtensile bond strength, polymerization shrinkage, flexural strength and modulus, fractographic FE-SEM analysis. Experimental groups were divided according to film thickness ($< 50 \mu\text{m}$ -control, $50 \mu\text{m}$ -T50, $100 \mu\text{m}$ -T100, $150 \mu\text{m}$ -T150) using composite-based resin cements (Variolink II, Duo-Link) and adhesive-based resin cements (Panavia F, Rely X Unicem). The data was analyzed using ANOVA and Duncan's multiple comparison test ($p < 0.05$).

The results were as follows :

1. Variolink II showed higher microtensile bond strength than that of adhesive-based resin cements in all film thickness ($p < 0.05$) but Duo-Link did not show significant difference except control group ($p > 0.05$).
2. Microtensile bond strength of composite-based resin cements were decreased significantly according to increasing film thickness ($p < 0.05$) but adhesive-based resin cements did not show significant difference among film thickness ($p > 0.05$).
3. Panavia F showed significantly lower polymerization shrinkage than other resin cements ($p < 0.05$).
4. Composite-based resin cements showed significantly higher flexural strength and modulus than adhesive-based resin cements ($p < 0.05$).
5. FE-SEM examination showed uniform adhesive layer and well developed resin tags in composite-based resin cements but unclear adhesive layer and poorly developed resin tags in adhesive-based resin cements. In debonded surface examination, composite-based resin cements showed mixed failures but adhesive-based resin cements showed adhesive failures. [J Kor Acad Cons Dent 35(2):69-79, 2010]

Key words: Resin cement, Film thickness, Indirect composite restoration, Bonding efficiency

-Received 2009.10.14., revised 2010.2.28., accepted 2010.3.5.-

I. 서 론

*Corresponding Author: **Kyung-Kyu Choi**
Professor of Division of Dentistry,
Graduate school of KyungHee University
1, Hoegi Dong, Dongdaemun Gu, Seoul, 130-702, Korea
Tel: 82-2-958-9337
E-mail: choikkyu@khu.ac.kr

최근 심미적 요구의 증가로 도재나 복합 레진 간접 수복이 증가하고 있으며 이를 치아에 접착하기 위한 레진 시멘트의 사용 역시 증가하고 있다.¹⁻³⁾ 레진 시멘트는 복합 레진의 일종으로 기계적/화학적으로 높은 결합력을 통하여 치질 삭제를 줄이고 유지 형태의 필요성을 감소시킨다. 또한 치질과

의 접착을 통하여 변연 누출을 감소시키고 구강 환경에서 불용성을 보이므로 레진 및 도재 수복물의 접착에 필수적으로 사용되는 시멘트이다. 간접 수복의 임상적인 성공을 위해서는 접착 시스템(레진 시멘트/상아질 접착제)과 치질 사이의 신뢰할만한 결합을 필요로 하는데^{4,5)} 레진 시멘트는 치질 및 수복물에 대해 높은 결합 능력을 나타내며 일반적인 시멘트로 합착했을 때보다 도재 또는 레진 수복물의 파절 저항성이 높게 나타나는 것으로 알려져 있다.⁶⁻⁸⁾

레진 시멘트는 여러 가지 방법으로 분류할 수 있으며 상아질 접착제의 사용 방식에 따른 분류, 레진 시멘트의 중합 방식에 따른 분류, 접착 기능성 단량체의 존재 및 시멘트의 조성에 따른 방식 등으로 분류할 수 있다. 상아질 접착제의 사용 방식에 따라 전체 산 부식형(total-etch), 자가 부식형(self-etch), 자가 접착형(self-adhesive) 방식으로 나눌 수 있으며, 레진 시멘트의 중합 방식에 따라서는 자가 중합(self-cure), 광중합(light-cure), 이중 중합(dual-cure) 방식으로 나눌 수 있다.¹⁾

복합 레진이나 도재 간접 수복물의 접착에는 최근 이중 중합 방식의 레진 시멘트가 주로 사용되는데 여기에는 광중합 방식에 사용되는 광개시제인 camphoroquinone과 함께 자가 중합 개시/활성제인 peroxide/amine이 포함되어 있다. 서서히 활성화되는 peroxide/amine 시스템은 작업 시간을 연장시키고, 광조사가 충분하지 않는 부분을 적절하게 중합시키는 역할을 한다.⁹⁾

다단계의 전체 산 부식 방식과 비교하여 자가 부식이나 자가 접착 방식의 레진 시멘트는 적용 시 기술 민감도가 낮고¹⁰⁾ 술 후 민감성이 적은 것으로 알려져 있다.¹¹⁾ 그러나 염기성 amine을 환원 촉매로 사용하는 자가 중합이나 이중 중합 방식의 레진 시멘트를 이러한 단순화된 접착 시스템과 함께 사용했을 때 높은 농도의 산성 레진 단량체와 반응하여 중합이 방해되며 접착층의 투과도가 증가하는 것으로 나타났다.^{12,13)}

레진 시멘트는 접착 기능성 단량체의 존재에 따라 복합 레진형 레진 시멘트(composite-based resin cement)와 접착형 레진 시멘트(adhesive-based resin cement)로 나눌 수 있다.¹⁾ 접착형 레진 시멘트는 자가 접착 능력을 가지며 치질 표면에 스스로 간단한 부식 작용을 하거나 또는 직접 적용할 수 있는 레진 시멘트로 접착 기능성 단량체(4-META, 10-MDP, Phenyl P, 4-MET 등)가 이를 가능하게 한다. 반면 복합 레진형 레진 시멘트는 스스로 접착할 수 있는 능력이 없어 상아질 접착제를 적용한 후 사용해야 하며 그 성분이 복합 레진과 유사하기 때문에 심미성과 물리적 성질이 우수한 장점을 가진다.

수복물의 장기간 유지를 위해서는 레진 시멘트의 높은 결합 강도 및 낮은 용해도 이외에도 접착 시 수복물의 완전한 적합을 위해 최소한의 film thickness를 유지하는 것이 필

수적이다.¹⁴⁾ 레진 시멘트의 film thickness는 시멘트 자체의 점도와 접착 과정에서 가해진 힘의 양에 영향 받을 수 있다. Goracci 등¹⁵⁾은 자가 부식형과 자가 접착형 이중 중합 시멘트의 초기 자가 중합 기간 동안 finger pressure이상의 압력이 가해질 때 계면의 결합 강도와 적합성이 개선된다고 보고한 바 있다. 또한 레진 시멘트의 중합 수축으로 발생하는 응력을 감소시키기 위하여 가능한 얇은 film thickness를 가져야 한다는 주장^{16,17)}이 있는 반면 접착 공간이 좁아질수록 재료의 수축으로 인한 중합 응력이 더 커진다는 주장도 제기되어 왔다.¹⁸⁻²¹⁾ Gemalmaz 등²²⁾은 2급 간접 수복물 변연부에서의 시멘트 두께가 *in vitro* (48-67 μm)에서보다 *in vivo* (73-132 μm)에서 더 두꺼웠다고 보고하였으며, D' Arcangelo 등²³⁾은 섬유 강화 포스트를 이중 중합형 레진 시멘트로 접착할 때 0.1-0.3 mm의 시멘트 두께가 적절하다고 보고하였다.

그럼에도 불구하고 임상에서 발생하는 다양한 film thickness 조건에서 레진 시멘트가 어떤 접착 효율 및 성질을 나타내는지에 대한 연구는 부족한 상황이다. 미세인장 결합 강도 측정은 매우 작은 시편에서도 시행할 수 있고 측정 시 균일한 응력 분포를 나타내는 등의 장점으로 치질에 대한 접착 재료의 결합 강도 측정에 매우 유용한 것으로 알려져 있으며,²⁴⁾ 레진 시멘트의 중합 거동과 물리적 성질 측정에는 주로 중합 수축, 굴곡 강도, 탄성 계수, 전환율 측정 등이 많이 사용된다.²⁵⁾

따라서 본 연구는 여러 레진 시멘트의 film thickness에 따른 상아질과 간접 레진 수복물 간의 미세인장 결합 강도를 측정하고, 각 레진 시멘트의 중합 수축 및 굴곡 강도, 탄성 계수를 비교 분석하며, 접착 계면 및 파단면의 주사전자 현미경 관찰을 통하여 레진 시멘트의 film thickness가 레진 간접 수복물의 접착 효율에 미치는 영향을 평가하고자 시행하였다.

II. 실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

우식이 없는 건전한 64개의 제3대구치를 1% Chloramine T 용액에 보관한 후 미세인장 결합 강도 측정 및 전계 방출형 주사전자 현미경(FE-SEM) 관찰에 사용하였다.

본 연구에 사용된 레진 시멘트는 복합 레진형 레진 시멘트로 Variolink II (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein)와 Duo-Link (Bisco, Schaumburg, USA)를 사용하였으며, 접착형 레진 시멘트로 Panavia F (Kuraray, Osaka, Japan)와 Rely X Unicem (3M ESPE, Seefeld, Germany)을 사용하였다. 모든 레진 시멘트는 이중 중합 방식이었다. 이들의 구성 성분과 분류는 Table 1과 같으며

각 레진 시멘트에 사용되는 상아질 접착제와 분류는 Table 2와 같다.

Table 1. Resin cements used in this study

Resin cements	Type	Curing mode	Composition	Lot Number
Variolink II (Ivoclar Vivadent Schaan, Lichtenstein)	Composite	Dual	Base: Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, DMA, barium sulfate, Ba-Al-F-Si glass, ytterbium trifluoride	G25526
Duo-Link (Bisco, Schaumberg, USA)			Catalyst: benzoyl peroxide	G26368
Panavia F (Kuraray, Osaka, Japan)	Adhesive	Dual	A Paste: 10-MDP, bisphenol A polyethoxy dimethacrylate, hydrophobic dimethacrylate, hydrophilic dimethacrylate, benzoyl peroxide, silanated silica, colloidal silica, D,L-CQ	00319A
Rely X Unicem (3M ESPE, Seefeld, Germany)			B Paste: bisphenol A polyethoxy dimethacrylate, hydrophobic dimethacrylate, hydrophilic dimethacrylate, N,N'-diethanol-P-toluidine, sodium 2,4,6-trisopropyl benzene sulfinate, silanated barium glass, silanated titanium oxide, sodium fluoride, colloidal silica	00055A
		Dual	Powder: glass powder, silica, calcium hydroxide, pigment, substituted pyrimidine, peroxy compound, initiator	329836
			Liquid: methacrylated phosphoric ester, dimethacrylate, acetate, stabilizer, initiator	

Table 2. Adhesive system of resin cements used in this study

Resin cements	Bonding Type	Composition of adhesive system	Lot Number
Variolink II (Ivoclar Vivadent Schaan, Lichtenstein)	2-step Total-etching	Excite DSC-Etchant: 37% phosphoric acid gel Adhesive: BisGMA, HEMA, ethanol, water, filler, CQ	L28892
Duo-Link (Bisco, Schaumberg, USA)		One-Step-Etchant: 37% phosphoric acid gel Adhesive: Bisphenyl dimethacrylate, HEMA, Acetone	0800002142
Panavia F (Kuraray Medical Inc, Osaka, Japan)	Single-step Self-etching	ED Primer II A: 2-hydroxyethyl methacrylate, 10-MDP, N-methacryloyl 5-aminosalicylic acid, N,N'-diethanol-P-toluidine, water	00257A
Rely X Unicem (3M ESPE, Seefeld, Germany)		ED Primer II B: 2-hydroxyethyl methacrylate, sodium benzene sulfinate, N-methacryloyl 5-aminosalicylic acid, N,N'-diethanol-P-toluidine, water	00133A
	Self-adhesive	none	329836

2. 실험 방법

A. 실험군 분류

복합 레진형 레진 시멘트인 Variolink II와 Duo-Link, 접착형 레진 시멘트인 Panavia F와 Rely X Unicem의 4가지 레진 시멘트를 사용하였고, 각각의 시멘트를 film thickness에 따라 < 50 μm (control)의 대조군과 50 μm (T50), 100 μm (T100), 150 μm (T150)의 실험군으로 나누어 총 16개의 군으로 분류하였다.

B. 시편 제작

저속 diamond saw (Isomet: Buhler Ltd, Lake Bluff, USA)를 사용하여 사람의 제3대구치 64개의 교합면측 법랑질을 제거하여 상아질을 노출시키고 #320 SiC paper로 도말층이 형성되도록 표면을 연마하였다.

간접 복합 레진 overlay는 Tescera™ (Bisco, Schaumburg, USA)를 사용하여 지름 6 mm, 높이 4 mm의 원통형 block으로 제작하였고, 표면을 #320에서 #600 SiC paper까지 순차적으로 연마한 다음 20-50 μm 입자 크기의 Al_2O_3 로 10초간 sandblast 처리하고 초음파 세척기에서 1분간 세척하였다.

제조사에 지시에 따라 상아질 접착제를 적용한 후 상아질 표면에 각 레진 시멘트를 적용하고 복합 레진 block을 접착

시켰다. Rely X Unicem은 상아질 표면 처리 없이 시멘트를 직접 적용하였다. 대조군에서는 metal strip을 사용하지 않고 접착한 반면, 실험군에서는 50, 100, 150 μm 두께의 metal strip을 레진 block과 상아질 사이의 양쪽 가장자리에 위치시키고 접착하였다. 각 레진 block은 접착 압력을 일정하게 하기 위해 0.5 kgf의 압력을 가하도록 하였고, 과량의 시멘트는 microbrush로 제거한 다음 40초간 광중합한 후 5분간 압력 하에 자가 중합하도록 하였다.

C. 미세인장 결합 강도 측정

실험 전 시편을 37°C의 증류수에 24시간 동안 보관하였으며 non-trimming version으로 미세인장 결합 강도 측정을 위한 시편을 제작하였다.²⁶⁾ 저속 diamond saw (Isomet: Buhler Ltd, Lake Bluff, USA)를 사용하여 시편을 치아 장축을 따라 1 mm 두께의 slab으로 절단하고 이를 다시 수직 절단하여 1 mm²의 단면적을 갖는 막대형 시편을 제작하였다. 제작된 시편은 미세인장 결합 강도 측정을 위한 jig에 cyanoacrylate adhesive (Zapit: Palladium, USA)를 사용하여 부착한 후 universal testing machine (EZ Test: Shimadzu, Japan)에서 1 mm/min의 crosshead speed로 인장력을 가해 결합 강도를 측정하였다 (Figure 1).

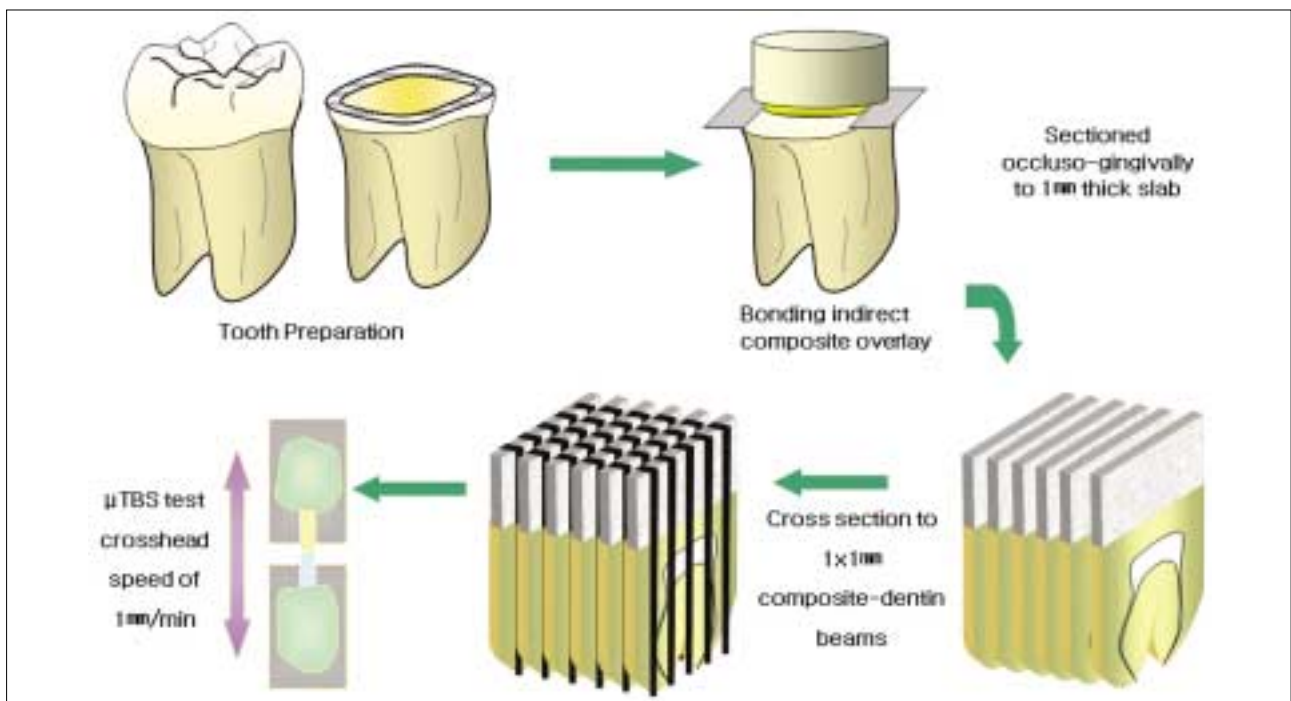


Figure 1. Schematic presentation of μTBS test.

D. 중합 수축 측정

4종의 이중 중합 레진 시멘트에서 각각 동량의 base와 catalyst를 혼합한 다음 ACUVOL™ volumetric shrinkage analyzer (Bisco, Schaumburg, USA)에 위치시켰다. 각 레진 시멘트는 초기 중합 기간 동안 40초 광중합을 시행하였고 이후 자가 중합하는 5분 후 수축량을 측정하여 중합 전후의 값을 비교하여 중합 수축량을 계산하였다. 측정은 레진 시멘트 당 각각 5회씩 시행하였다.

E. 굴곡 강도 및 굴곡 탄성 계수 측정

국제 표준 규격 ISO 4049에 따른 3점 굴곡 시험에 의해 굴곡 강도를 측정하였고,²⁷⁾ 응력 및 변위량을 측정하여 굴곡 탄성 계수(이하 탄성 계수)를 측정하였다. 분리가 가능한 stainless steel 주형(25 × 2 × 2 mm)에 각 레진 시멘트의 base와 catalyst를 혼합하여 충전하고 60초간 광중합한 후 주형을 뒤집어서 다시 60초간 광중합 하였다. 5분간 기다린 후 주형에서 시편을 제거하였고 각 레진 시멘트에서 5개씩의 시편을 제작하였다. 37℃ 증류수에서 24시간 보관한 후 3점 굴곡 시험용 jig가 장착된 universal testing machine (EZ Test: Shimadzu, Japan)에서 1 mm/min의 crosshead speed로 수직 하중을 가하고 시편이 파단될 때까지의 최대 하중을 측정하였다. 한편, 응력-변형 곡선을 x-y record에 기록하여 탄성 한도 내의 기울기를 측정하고 탄성 계수를 구하는데 이용하였다.

F. 전계 방출형 주사전자 현미경(FE-SEM) 관찰

레진 시멘트와 상아질 계면의 관찰을 위해 시편의 접착 계면을 수직으로 절단하고 노출된 접착면을 #1500, #2000 SiC paper로 순차 연마한 다음 37% 인산으로 3초간 산 부식하고, 5% NaOCl에 3분간 처리한 뒤 24시간 동안 건조

하였고, 미세인장 결합강도 측정 후 상아질측 파단면의 관찰을 위해서는 24시간 건조만을 시행하였다. 이후 gold-sputter-coating을 시행(SC 502 sputter coater, VG Microtech, England)한 다음 FE-SEM (Leo SUPRA 55, Carl Zeiss, Germany; Genesis 2000, Edax, USA)에서 관찰하였다.

G. 통계 분석

각 실험에서 얻어진 데이터는 95% 신뢰수준에서 미세인장 결합 강도의 경우는 two-way ANOVA를 시행한 후 각 재료에 따른 film thickness의 차이와 film thickness에 따른 재료간의 차이를 보기 위해 one-way ANOVA와 Duncan's multiple comparison test를 시행하였고, 중합 수축, 굴곡 강도 및 탄성 계수 측정의 경우에는 one-way ANOVA를 이용하여 각 군 간의 차이를 비교하였으며, Duncan's multiple comparison test를 이용하여 사후 검증하였다.

Ⅲ. 실험 성적

1. 미세인장 결합 강도

미세인장 결합 강도에 대한 two-way ANOVA 시행 결과 주 효과(main effect)인 레진 시멘트 및 film thickness 모두 유의성이 있는 것으로 나타났으며 또한 이 둘 사이의 교호 작용(interaction)도 존재하는 것으로 관찰되었다(Table 3).

각 레진 시멘트의 film thickness에 따른 미세인장 결합 강도는 Table 4와 같다. 복합 레진형 레진 시멘트 중 Variolink II는 모든 film thickness에서 접착형 레진 시멘

Table 3. Two-way ANOVA result between factors of resin cements and film thickness

Source	Sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
cement	7441.126	3	2480.375	45.769	.000
thickness	1346.888	3	448.963	8.285	.000
cement * thickness	1646.262	9	182.918	3.375	.001
Error	8833.45	163	54.193		

Table 4. Microtensile bond strengths for experimental groups (MPa ± SD)

	Control	T50	T100	T150
Variolink II	36.42 ± 8.04 ^{Aa}	35.30 ± 9.03 ^{Aa}	28.44 ± 13.14 ^{Ba}	17.12 ± 5.49 ^{Ca}
Duo-Link	23.78 ± 7.45 ^{Ab}	19.79 ± 7.83 ^{ABb}	18.17 ± 6.66 ^{ABb}	14.99 ± 5.15 ^{Bab}
Panavia F	13.93 ± 3.62 ^{Ac}	16.16 ± 5.53 ^{Ab}	12.86 ± 2.92 ^{Ab}	12.49 ± 3.07 ^{Ab}
Rely X Unicem	13.15 ± 1.93 ^{Ac}	15.15 ± 4.13 ^{Ab}	16.05 ± 7.20 ^{Ab}	13.78 ± 3.53 ^{Ab}

Groups with the same superscripts letters indicate no significant difference ($p > 0.05$), according to resin cements (small letters) or film thickness (capital letters).

Table 5. Polymerization shrinkage, flexural strength and flexural modulus of resin cements

Test Resin cement	Polymerization Shrinkage (% \pm SD)	Flexural Strength (MPa \pm SD)	Flexural Modulus (GPa \pm SD)
Variolink II	3.33 \pm 0.30 ^a	43.42 \pm 4.33 ^a	2.65 \pm 0.33 ^a
Duo-Link	3.79 \pm 0.74 ^a	33.94 \pm 1.18 ^b	2.32 \pm 0.18 ^a
Panavia F	2.05 \pm 0.49 ^b	17.77 \pm 0.83 ^c	1.60 \pm 0.26 ^b
Rely X Unicem	3.16 \pm 0.26 ^a	13.52 \pm 0.63 ^c	1.20 \pm 0.12 ^b

Mean values for each test with same subscript were not significantly different ($p > 0.05$)

트인 Panavia F와 Rely X Unicem에 비해 유의하게 높은 결합 강도를 나타냈으나($p < 0.05$), Duo-Link의 경우 Control에서만 유의하게 높은 결합 강도를 나타냈을 뿐 나머지 군에서는 유의차가 없었다($p > 0.05$). Variolink II의 경우 T50까지는 결합강도의 유의성 있는 감소가 없었지만 T100, T150으로 갈수록 유의성 있는 결합강도의 감소를 나타냈다($p < 0.05$). Duo-Link는 film thickness가 증가할수록 결합 강도의 점진적인 감소가 나타났으며 Control과 T150사이에는 통계학적 유의차가 있었다($p < 0.05$). Panavia F와 Rely X Unicem의 경우 film thickness에 따른 통계학적 유의차는 없었다($p > 0.05$).

2. 중합 수축, 굴곡 강도 및 탄성 계수

각 레진 시멘트의 중합 수축, 굴곡 강도 및 탄성 계수 실험 결과가 Table 5에 나와있다. 중합 수축 측정 결과 Panavia F의 경우 다른 레진 시멘트에 비해 유의성 있게 낮은 중합 수축량을 나타냈다($p < 0.05$). 굴곡 강도 측정 결과 Variolink II의 굴곡 강도가 가장 높게 나타났으며, Panavia F와 Unicem은 복합 레진형 레진 시멘트인 Variolink II나 Duo-Link보다 유의성 있게 낮은 수치를 나타냈다($p < 0.05$). 탄성 계수의 측정 결과는 굴곡 강도와 유사한 양상을 보여주었다. 복합 레진형 레진 시멘트가 접착형 레진 시멘트보다 유의성 있게 높은 수치를 나타냈다($p < 0.05$).

3. 전계 방출형 주사전자 현미경(FE-SEM) 관찰

접착 계면에 대한 FE-SEM 관찰에서 metal strip을 사용하지 않고 직접 접착을 시행한 control군에서는 레진 시멘트층의 두께가 25-30 μm 정도인 것으로 관찰되었고, T50, T100, T150군은 대체로 해당 두께의 시멘트층을 갖는 것으로 관찰되었다.

Excite DSC를 접착제로 사용한 Variolink II의 경우 10-20 μm 정도의 두꺼운 접착 레진층과 함께 혼성층이 균일하게 형성되어 있었고, 잘 발달된 resin tag가 나타났다

(Figure 2a). Duo-Link의 경우에도 균일한 혼성층과 함께 resin tag가 잘 형성되어 있었지만, One-Step을 사용한 접착 레진층의 두께는 10 μm 이하로 얇았다(Figure 2b). 자가 부식형 상아질 프라이머를 사용하는 Panavia F에서는 혼성층이 레진 시멘트층과 혼재되어 불분명하였으며 resin tag는 가늘고 길게 형성되어 있었다(Figure 2c). 자가 접착형인 Rely X Unicem의 경우에도 혼성층이 불분명하였고 resin tag는 매우 짧거나 거의 관찰되지 않았다(Figure 2d).

파단면의 관찰에서 Variolink II와 Duo-Link는 시멘트 두께가 두꺼워질수록 혼성층 상하부가 파괴되면서 혼합형 파괴 양상이 나타났으며 이로 인해 상방의 접착 레진층과 하방의 상아질층이 노출되는 경향이 나타났다(Figure 3a, 3b). Panavia F와 Rely X Unicem의 경우에는 시멘트 두께에 상관없이 주로 접착층 하방에서의 접착성 파괴 양상을 보였으며, 일부 상아세관이 노출된 경우도 있었다. 또한 일부 시편에서는 접착층 내에 수분으로 인한 기포 형성이 관찰되었다(Figure 3c, 3d).

IV. 총괄 및 고안

산 부식된 상아질에 대한 접착 기전은 탈회된 상아질 표면으로 접착 단량체가 노출된 교원 섬유에 침투하여 형성되는 혼성층에 의한 미세기계적 결합으로 설명될 수 있다.²⁸⁾ 접착성 간접 수복물의 임상적 성공은 이러한 접착 과정의 성패 및 사용된 재료, 혼성층 형성 등과 밀접하게 연관되어 있다. 레진 시멘트는 우수한 물성으로 도재나 금속, 복합 레진 간접 수복물, 섬유 강화 포스트의 접착 등 임상에서의 활용도가 점차 늘어나고 있다. 레진 시멘트는 치면 처리가 필요 없는 자가 접착 방식을 제외하고는 전통적으로 전체 산 부식이나 자가 부식 방식의 상아질 접착제의 사용을 필요로 한다.²⁹⁾

본 연구에서는 전체 산 부식 방식의 상아질 접착제를 사용하는 Variolink II와 Duo-Link, 자가 부식 방식의 Panavia F, 자가 접착 방식의 Rely X Unicem을 사용하였으며 이들을 다시 접착 기능성 단량체의 유무로 분류하면

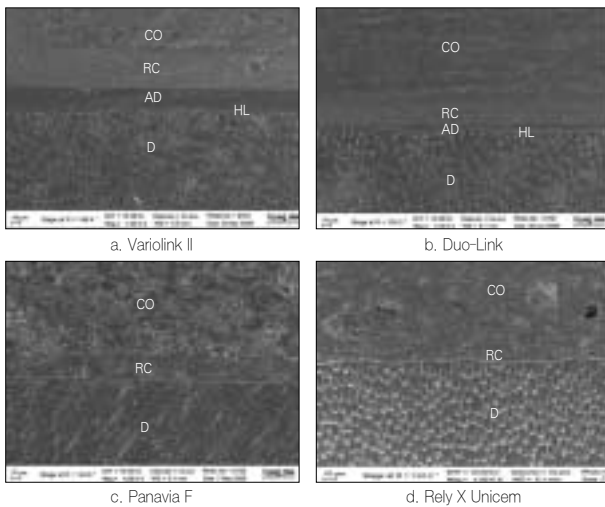


Figure 2. FE-SEM images of resin cement/dentin interface ($\times 1000$). Composite-based resin cements(a, b) showed adhesive layer, uniform hybrid layer and well developed resin tags. Adhesive-based resin cements(c, d) showed uncertain hybrid layer and slender resin tags (CO: Composite overlay, RC: Resin cement, AD: Adhesive layer, HL: Hybrid layer, D: Dentin).

기능성 단량체를 포함하는 접착형 레진 시멘트로 Panavia F와 Rely X Unicem, 기능성 단량체를 포함하지 않고 별도의 상아질 접착제를 적용하는 복합 레진형 레진 시멘트인 Variolink II와 Duo-Link로 분류할 수 있다.

Kious 등¹⁴⁾의 연구에 의하면 여러 레진 시멘트의 film thickness가 작업 시간 2분 동안 ISO 기준인 $25 \mu\text{m}$ 를 넘지 않는다고 보고하였지만 이것은 혼합된 시멘트를 두 개의 plate 사이에 위치시킨 다음 위에서 힘을 가해 측정된 것으로 임상에서는 삭제된 치질의 거친 표면이나 와동의 모서리 부분, 또는 가공 과정에서의 지나친 relief나 과도한 sand-blasting과 같은 원인 때문에 이와 같은 두께를 얻기는 어렵다. 오히려 다른 연구에서는 임상에서 더 두꺼운 film thickness를 보였다고 보고된 바 있다.^{22,30-32)} 본 연구는 임상에서 발생할 수 있는 다양한 film thickness에서 서로 다른 특성을 갖는 레진 시멘트가 어떠한 접착 효율을 나타내는가를 평가하기 위해 시행되었다.

2단계 전체 산 부식 방식의 상아질 접착제인 Excite DSC를 사용한 Variolink II의 경우 모든 film thickness에서 접착형 레진 시멘트에 비해 통계적으로 유의한 높은 미세인장 결합 강도를 나타냈으나, One-Step을 사용한 Duo-Link의 경우에는 control군에서만 접착형 레진 시멘트보다 유의성 있게 높은 미세인장 결합 강도를 나타냈다. FE-SEM을 통한 접착 계면 관찰에서 균일한 혼성층과 잘 발달

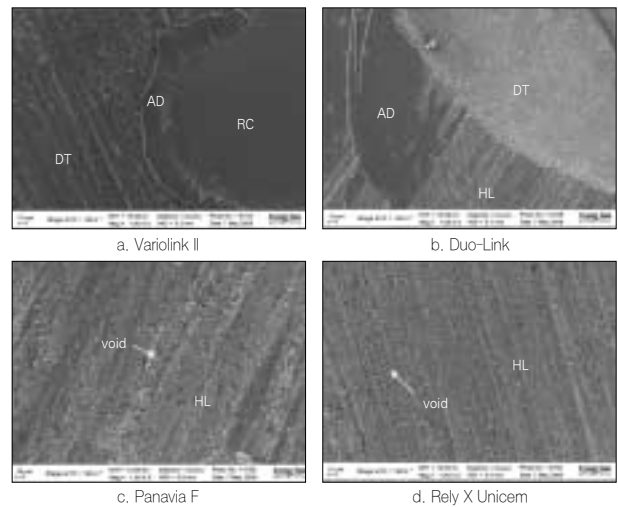


Figure 3. FE-SEM images of debonded interface ($\times 1000$). Composite-based resin cements(a, b) showed mixed failure at top and bottom of hybrid layer. Opened dentinal tubules, resin cement and adhesive layer could be seen. Adhesive-based resin cements(c, d) showed adhesive failure at hybrid layer. Partially opened dentinal tubules and void formation could be seen (RC: Resin cement, AD: Adhesive layer, DT: Dentinal tubule, HL: Hybrid layer).

된 resin tag 소견은 비슷했지만 Variolink II에서 Duo-Link보다 두꺼운 접착층이 관찰되었다. 이는 접착층의 두께가 두꺼워질수록 복합 레진의 중합 수축으로 인한 stress를 완충할 수 있는 능력이 커져 결합 강도를 유지할 수 있다는 이전의 연구 결과와 일치한다.³³⁾ 또한 Variolink II에서 사용된 Excite DSC는 이중 중합이 가능한 접착제로서 접착 시 광조사가 충분치 못한 부위에서도 중합이 이루어져 더욱 강한 결합을 이룬 것으로 생각할 수 있다.

산 부식과 상아질 접착제를 사용하여 높은 결합 강도를 보인 복합 레진형 레진 시멘트는 굴곡 강도나 탄성 계수 역시 접착형 레진 시멘트보다 유의성 있게 높았는데, 높은 물리적 성질이 접착형 레진 시멘트보다 높은 결합 강도를 나타내게 한 원인 중 한가지였음을 알 수 있다. 그러나 높은 탄성 계수는 복합 레진형 레진 시멘트의 film thickness가 증가할수록 결합 강도에 불리하게 작용하여 급격한 결합 강도의 감소를 가져오게 한 것으로 보인다. 이는 중합 수축 측정 결과에서 복합 레진형 레진 시멘트의 측정값이 높게 측정된 것과도 연관하여 설명할 수 있다.

또한 전체 산 부식 방식의 상아질 접착제에서는 단량체가 탈회된 상아질의 교원질 구조 내로 완전히 침투하지 않는 부분(hybridoid layer)이 발생할 수 있으며 이것이 불안정한 혼성층 형성의 원인이 될 수 있다.³⁴⁾ 이러한 부분에 film thickness가 증가할수록 높아지는 중합 수축 응력이 작용

하면 혼성층의 파괴로 이어지게 되어 앞에서와 같이 복합 레진형 레진 시멘트의 film thickness 증가에 따라 미세인장 결합 강도가 감소하는 원인이 되는 것으로 보인다. FE-SEM의 파단면 관찰에서도 복합 레진형 레진 시멘트의 film thickness가 두꺼워질수록 혼합형 파괴 양상을 보인 것이 이를 뒷받침한다. 조 등³⁵⁾의 연구에서도 복합 레진형 레진 시멘트가 접착형 레진 시멘트보다 높은 결합 강도를 보였지만 열순환 시행 후 혼성층의 파괴로 결합 강도의 감소가 나타남을 보고한 바 있다.

Panavia F는 접착 기능성 단량체인 10-MDP를 포함하고 있는 자가 부식 방식의 접착형 레진 시멘트로 부가적인 접착 레진의 도포를 필요로 하지 않고 프라이머와 시멘트 내의 기능성 단량체가 직접 상아질에 작용하도록 제조되었다. Panavia F는 미세인장 결합 강도 측정에서 복합 레진형 레진 시멘트보다 낮은 결과를 나타내었는데 이는 다른 연구 결과와도 일치한다.^{13,36)} 산성의 레진 단량체는 이중 중합형 레진 시멘트의 peroxide-amine 2원 산화-환원 작용에 의한 중합을 방해할 수 있는데 이것이 결합 강도에 부정적인 영향을 미친 것으로 생각된다.^{12-13,37)} 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 aryl sulfonic acid salts, organoboron compounds, barbituric acid/cupric chloride와 같은 부가적인 화학 개시제들이 소개되고 있다.^{38,39)} 또한 친수성의 산성 단량체를 포함하는 자가 부식형 접착제는 중합 후 투과성 막으로 작용하여 삼투압에 의해 상아 세관으로부터 수분을 끌어당겨 접착제와 레진 시멘트 사이의 부적합 (incompatibility)을 일으키는데 이것이 낮은 결합 강도를 나타내게 한 것으로 보인다.⁴⁰⁾ FE-SEM의 파단면 관찰에서도 이러한 수분으로 인한 것으로 추정되는 기포들이 발견되었다. 이전의 연구에 의하면 단일 접착과정의 자가 부식형 접착제 사용 시 부가적인 저점도 레진층을 도포함으로써 투과성을 감소시켜 결합 강도의 저하를 예방할 수 있다고 하였다.^{29,41,42)} FE-SEM의 접착 계면 관찰에서는 따로 접착 레진을 사용하지 않았으므로 접착 레진층 없이 산성 기능성 단량체에 의한 혼성층이 레진 시멘트층과 혼재되어 불분명하였으며 resin tag는 가늘고 길게 형성되어 있었다. 중합 수축 측정 결과에서는 Panavia F가 다른 3가지 레진 시멘트에 비해 유의성 있게 낮은 수치를 나타냈는데 전환율을 측정하였던 이전의 연구^{43,44)}에서 Panavia F와 Rely X Unicem의 결과가 Variolink II보다 낮았던 것으로 보아 중합 반응이 완전히 진행되지 못하여 수축 역시 적게 나타난 것으로 볼 수 있다. 이는 film thickness의 증가에도 불구하고 미세인장 결합 강도가 유의성 있는 차이를 보이지 않았던 이유를 설명할 수 있을 것으로 사료된다.

Rely X Unicem은 별도의 접착 과정이 없는 자가 접착 방식의 레진 시멘트로 methacrylated phosphoric ester를 기능성 단량체로 함유하고 있다. 따라서 도말층을 통과하여

하방의 건전한 상아질까지 부식시키기에는 부족하며 비교적 높은 점도와 다공성은 문제점으로 지적되고 있다.^{45,46)} FE-SEM 관찰 결과 불분명한 혼성층과 매우 짧거나 거의 관찰되지 않는 resin tag 소견을 보였고 일부 시편의 접착층 하방에서는 gap이 형성되어 있는 것이 관찰된 바, 본 연구에서 낮은 미세인장 결합 강도를 보이는 이유라 할 수 있다. 중합 수축량에서는 Panavia F보다 유의성 있게 높은 값을 보였지만 굴곡 강도 및 탄성 계수에서는 유의차 없이 낮은 수치를 나타내어 전반적으로 Panavia F와 비슷한 정도의 결합 강도를 보였으며 film thickness의 증가에 따른 유의성 있는 변화는 없었다.

굴곡 강도와 탄성 계수의 측정은 레진 시멘트 자체의 물리적 성질을 확인하고자 하는 목적 이외에 Young's law ($E = \sigma/\epsilon$, σ :stress, ϵ :strain)에 의한 중합 수축 응력과 film thickness와의 관계를 간접적으로 확인하고자 한 것이다. 주어진 응력에 대하여 재료가 모양을 유지할 수 있는 능력인 탄성 계수가 높고 중합 수축이 크면 제한된 공간에서 응력 발생이 크고 film thickness가 커질수록 수축량이 증가하게 되므로 결합 강도에 손상을 주게 된다.⁴⁷⁾ 따라서 높은 굴곡 강도와 탄성 계수를 나타낸 복합 레진형 레진 시멘트에서 film thickness가 작을 때 높은 결합 강도를 보이다가 film thickness가 커지면서 결합 강도가 급격히 감소한 것은 탄성계수가 낮은 접착형 레진 시멘트가 film thickness에 따른 결합 강도의 영향을 덜 받은 것과 상반된 결과라 할 수 있다.

본 연구는 레진 시멘트의 결합 강도에 영향을 미치는 요소들로 레진 시멘트의 종류, film thickness, 물리적 성질(굴곡 강도와 탄성 계수), 중합 수축과 이로 인한 응력 등을 고려하였고 이들 사이의 상호 관계를 밝히고자 시행되었다. 본 연구에서는 레진 간접 수복물을 overlay형태로 제작하여 상아질 표면에 레진 시멘트를 이용하여 접착하였는데 실제 임상에서 편평한 조건을 가지는 경우는 드물고 또한 교합압이나 장기간에 걸친 구강 내 환경의 영향에 대한 고려가 이루어지지 않았다는 점에서 일정 부분 한계를 가진다고 할 수 있다. 이러한 제한에도 불구하고 이번 연구의 결과만을 놓고 본다면 적절한 상아질 접착과정이 이루어졌을 때 복합 레진형 레진 시멘트가 접착형 레진 시멘트보다 높은 결합 강도를 가지며 재료 자체의 성질로 인해 film thickness가 작을 때 접착 효율이 더 우수하다고 할 수 있다. 향후 간접 수복물이 와동 내에 접착되는 경우에서의 film thickness 영향 및 장기간에 걸친 접착 내구성에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

서로 다른 접착 시스템 및 특성을 갖는 4종의 레진 시멘트

의 film thickness를 다르게 하여 복합 레진 간접 수복물을 상아질에 접착시킨 다음 미세인장 결합 강도를 측정하고, 각 레진 시멘트의 중합 수축, 굴곡 강도, 탄성 계수를 측정하였다. 또한 레진 시멘트와 상아질 사이의 접착 계면과 미세인장 결합 강도 측정 후의 상아질측 파단면을 FE-SEM을 이용하여 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다:

1. 복합 레진형 레진 시멘트 중 Variolink II는 모든 film thickness에서 접착형 레진 시멘트보다 높은 결합 강도를 나타냈지만($p < 0.05$), Duo-Link는 대조군을 제외하고는 통계학적 유의차가 없었다($p > 0.05$).
2. Film thickness가 증가할수록 복합 레진형 레진 시멘트의 결합 강도는 유의성 있게 감소($p < 0.05$)하는 경향을 보인 반면, 접착형 레진 시멘트는 통계학적 유의차가 없었다($p > 0.05$).
3. Panavia F는 통계학적으로 유의성 있게 낮은 중합 수축량을 나타냈다($p < 0.05$).
4. 굴곡 강도와 탄성 계수는 복합 레진형 레진 시멘트가 접착형 레진 시멘트보다 유의성 있게 높게 나타났다($p < 0.05$).
5. FE-SEM 관찰 결과 결합 강도가 높은 복합 레진형 레진 시멘트는 균일한 접착층과 잘 발달된 resin tag 소견을 보였으나, 접착형 레진 시멘트는 불분명한 접착층과 resin tag 소견을 나타냈다. 파단면 관찰에서 복합 레진형 레진 시멘트는 혼합형 파괴 양상을 나타냈으나 접착형 레진 시멘트는 접착성 파괴 양상을 나타냈다.

레진 간접 수복물의 접착 시 결합 강도 및 접착 효율은 레진 시멘트의 종류, film thickness, 접착 시스템 등에 의해 영향을 받으므로 이들의 적절한 선택과 사용이 성공적인 수복에 중요하다.

참고문헌

1. Kramer N, Lohbauer U, Frankenberger R. Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 13:60D-76D, 2000.
2. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: a review of the current literature. *J Prosthet Dent* 80:280-301, 1998.
3. Diaz-Arnold AM, Vargas MA, Haselton DR. Current status of luting agents for fixed prosthodontics. *J Prosthet Dent* 81:135-141, 1999.
4. Inokoshi S, Willems G, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Dual-cure luting composites. Part I. Filler particle distribution. *J Oral Rehabil* 20:133-146, 1993.
5. Sjogren G, Molin M, Van Dijken J, Bergman M. Ceramic inlays(Cerec) cemented with either a dual-cured or a chemically cured composite resin luting agent. A 2-year clinical study. *Acta Odontol Scand* 53:325-330, 1995.
6. Casson AM, Glyn Jones JC, Youngson CC, Wood DJ. The effect of luting media on fracture resistance of a flame sprayed all-ceramic crown. *J Dent* 29:539-544, 2001.
7. Burke FJ. The effect of variations in bonding procedure on fracture resistance of dentin-bonded all-ceramic crowns. *Quintessence Int* 26:293-300, 1995.
8. Dietschi D, Maeder M, Meyer JM, Holz J. *In vitro* resistance to fracture of porcelain inlays bonded to tooth. *Quintessence Int* 21:823-831, 1990.
9. Cook WD, Thomasz F. A photocured composite resin with an apparent infinite depth of cure. *Aust Dent J* 28:243, 1983.
10. Van Meerbeek B, De Munck J, Yoshida Y, Inoue S, Vargas M, Vijay P, Van Landuyt K, Lambrechts P, Vanherle G. Buonocore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 28:215-235, 2003.
11. Sensat ML, Brackett WW, Meinberg TA, Beatty MW. Clinical evaluation of two adhesive composite cements for the suppression of dentinal cold sensitivity. *J Prosthet Dent* 88:50-53, 2002.
12. Ogawa T, Tanaka M, Matsuya S, Aizawa S, Koyano K. Setting characteristics of five autopolymerizing resins measured by an oscillating rheometer. *J Prosthet Dent* 85:170-176, 2001.
13. Sanares AM, Itthagarun A, King NM, Tay FR, Pashley DH. Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesive and chemical-cured composites. *Dent Mater* 17:542-556, 2001.
14. Kious AR, Roberts HW, Brackett WW. Film thickness of recently introduced luting cements. *J Prosthet Dent* 101:189-192, 2009.
15. Goracci C, Cury AH, Cantoro A, Papacchini F, Tay FR, Ferrari M. Microtensile bond strength and interfacial properties of self-etching and self-adhesive resin cements used to lute composite onlays under different seating forces. *J Adhes Dent* 8:327-335, 2006.
16. Kunzelmann KH, Hickel R, Meister C, Petschelt A. Curing contraction in thin bonding composite resin layers. In: Mörmann WH, editor. Proceedings of the International Symposium on Computer Restoration. The state of art of the Cerec method. Berlin: Quintessence 577-590, 1991.
17. Lutz F, Krejci I, Barbakow F. Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations. *Dent Mater* 7:107-113, 1991.
18. Davidson CL, De Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 63:146-148, 1984.
19. Davidson CL. Resisting the curing contraction with adhesive composites. *J Prosthet Dent* 55:446-447, 1986.
20. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of restoration. *J Dent Res* 66:1636-1639, 1987.
21. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Increased wall-to-wall curing contraction in thin bonded resin layers. *J Dent Res* 68L 48-50, 1989.
22. Gemalmaz D, Kkrer D. *In vivo* and *in vitro* evaluation of marginal fit of class II ceromer inlays. *J Oral Rehabil* 33:436-442, 2006.
23. D' Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D' Amario M. The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *J Prosthet Dent* 98:193-198, 2007.
24. Pashley DH, Sano H, Ciucchi B, Yoshiyama M,

- Carvalho RM. Adhesion testing of dentin bonding agents: a review. *Dent Mater* 11:117-125, 1995.
25. Li ZC, White SN. Mechanical properties of dental luting cements. *J Prosthet Dent* 81:597-609, 1999.
26. Shono Y, Ogawa T, Terashita M, Carvalho RM, Pashley EL, Pashley DH. Regional measurement of resin-dentin bonding as an array. *J Dent Res* 78:699-705, 1999.
27. ISO 4049 : International Standard Dentistry Resin-based dental filling materials. 1998.
28. Nakabayashi N, Pashley DH. Hybridization of dental hard tissues. Tokyo: Quintessence 51-53, 1998.
29. Carvalho RM, Pegoraro TA, Tay FR, Pegoraro LF, Silva NRFA, Pashley DH. Adhesive permeability affects coupling of resin cements that utilise self-etching primers to dentine. *J Dent* 32:55-65, 2004.
30. Audenino G, Bresciano ME, Bassi F, Carossa S. *In vitro* evaluation of fit of adhesively luted ceramic inlays. *Int J Prosthodont* 12:342-347, 1999.
31. Molin MK, Karlsson SL, Kristiansen MS. Influence of film thickness on joint bend strength of a ceramic/resin composite joint. *Dent Mater* 12:245-249, 1996.
32. Wassell RW, Gagliano G. Effects of adhesive fixed prosthesis retainer design on resultant resin luting agent thickness. *J Prosthet Dent* 80:479-484, 1998.
33. Choi KK, Condon JR, Ferracane JL. The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 79:812-817, 2000.
34. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM, Wei SH. Resin permeation into acid-conditioned, moist, and dry dentin: a paradigm using water-free adhesive primers. *J Dent Res* 75:1034-1044, 1996.
35. 조민우, 박상혁, 김종률, 최경규. 레진 시멘트의 접착 내구성에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 32:343-355, 2007.
36. Mak YF, Lai SCN, Cheung GSP, Chan AW, Tay FR, Pashley DH. Micro-tensile bond testing of resin cements to dentin and an indirect resin composite. *Dent Mater* 18:609-621, 2002.
37. Tay FR, Pashley DH, Yiu CKY, Sanares AM, Wei SW. Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and self-cured or dual-cured composites. Part I. Single-step self-etch adhesive. *J Adhes Dent* 5:27-40, 2003.
38. Ikemura K, Endo T. Effect on adhesion of new polymerization initiator systems comprising 5- monosubstituted barbituric acids, aromatic sulphonate amides, and tert-butyl peroxy maleic acid in dental adhesive resin. *J App Poly Sci* 72:1655-1668, 1999.
39. Nyunt NM, Imai Y. Adhesion to dentin with resin using sulfinic acid initiator system. *Dent Mater* 15: 175-182, 1996.
40. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent* 30:371-382, 2002.
41. 최승모, 박상혁, 최경규, 박상진. 중간층 레진 적용이 단일 접착 과정 상아질 접착제의 접착에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 32:313-326, 2007.
42. 김도완, 박상진, 최경규. 자가 부식형 상아질 접착제와 레진 시멘트와의 적합성에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 30:493-504, 2005.
43. Tezvergil-Mutluay A, Lassila LV, Vallittu PK. Degree of conversion of dual-cure luting resins light-polymerized through various materials. *Acta Odontol Scand* 65:201-205, 2007.
44. Kumbuloglu O, Lassila LV, User A, Vallittu PK. A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements. *Int J Prosthodont* 17:357-363, 2004.
45. De Munck J, Vargas M, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 20:963-971, 2004.
46. Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M. Micro- tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 22:45-56, 2006.
47. Kleverlaan CJ, Feilzer AJ. Polymerization shrinkage and contraction stress of dental resin composites. *Dent Mater* 21:1150-1157, 2005.

국문초록

레진 시멘트의 film thickness가 간접 복합 레진 수복물의 접착 효율에 미치는 영향에 관한 연구

이상혁 · 최기운 · 최경규*

경희대학교 대학원 치의학과 치과보존학교실

본 연구는 여러 레진 시멘트의 film thickness에 따른 상아질과 간접 레진 수복물 간의 미세인장 결합 강도를 측정하고, 각 레진 시멘트의 중합 수축 및 굴곡 강도, 탄성 계수를 비교 분석하며, 접착 계면 및 파단면의 주사전자 현미경 관찰을 통하여 레진 시멘트의 film thickness가 레진 간접 수복물의 접착 효율에 미치는 영향을 평가하고자 시행하였다.

복합 레진형 레진 시멘트인 Variolink II와 Duo-Link, 접착형 레진 시멘트인 Panavia F와 Rely X Unicem의 4가지 레진 시멘트를 사용하였고, 각각의 시멘트를 film thickness에 따라 < 50 μm (control)의 대조군과 50 μm (T50), 100 μm (T100), 150 μm (T150)의 실험군으로 나누어 총 16개의 군으로 분류하였다. 데이터는 ANOVA와 Duncan's multiple comparison test ($p < 0.05$)를 이용하여 통계 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다:

1. Variolink II는 모든 film thickness에서 접착형 레진 시멘트보다 높은 결합 강도를 나타냈지만($p < 0.05$), Duo-Link는 대조군을 제외하고는 통계학적 유의차가 없었다($p > 0.05$).
2. Film thickness가 증가할수록 복합 레진형 레진 시멘트의 결합 강도는 유의성 있게 감소($p < 0.05$)하는 경향을 보인 반면, 접착형 레진 시멘트는 통계학적 유의차가 없었다($p > 0.05$).
3. Panavia F는 통계학적으로 유의성 있게 낮은 중합 수축량을 나타냈다($p < 0.05$).
4. 굴곡 강도와 탄성 계수는 복합 레진형 레진 시멘트가 접착형 레진 시멘트보다 유의성 있게 높게 나타났다($p < 0.05$).
5. FE-SEM 관찰 결과 결합 강도가 높은 복합 레진형 레진 시멘트는 균일한 접착층과 잘 발달된 resin tag 소견을 보였으나, 접착형 레진 시멘트는 불분명한 접착층과 resin tag 소견을 나타냈다. 파단면 관찰에서 복합 레진형 레진 시멘트는 혼합형 파괴 양상을 나타냈으나 접착형 레진 시멘트는 접착성 파괴 양상을 나타냈다.

주요단어: 레진 시멘트, Film thickness, 간접 복합 레진 수복물, 접착 효율