

Comparison of Shear Bond Strength of Different Restorative Materials to Tricalcium Silicate-Based Pulp Capping Materials

Hwakyong Jeong, Nanyoung Lee, Sangho Lee

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Chosun University

Abstract

The aim of this study was to evaluate the shear bond strength (SBS) of three typical restorative materials - glass ionomer cement (GIC), resin-modified glass ionomer (RMGIC) and composite resin (CR) - to different pulp capping materials, i.e., Theracal LC™ (TLC), Biodentine™ (BD), and ProRoot™ white MTA (WMTA).

90 acrylic blocks with a center hole were prepared. The holes were completely filled with three pulp capping materials (TLC, BD, and WMTA), with 30 specimens per capping material. The samples were then randomly divided into 3 subgroups of 10 specimens each and were overlaid with GIC, RMGIC, or CR. A total 9 specimen groups were prepared. The SBS was assessed using a universal testing machine. Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney's test were performed to compare the SBS among the subgroups ($p < 0.05$). After the SBS test, the fractured surfaces were examined under a stereomicroscope at a magnification of 25×.

The highest and lowest SBS values were recorded for TLC-CR and TLC-GIC, respectively. With regard to the SBS to the three pulp capping materials, CR was found to be superior to RMGIC and GIC. BD showed a higher SBS compared to TLC and WMTA when used with GIC.

Key words : Pulp capping materials, Biodentine™, Theracal LC™, Mineral trioxide aggregate, Shear bond strength, Failure modes

I. 서 론

건강한 치수 혹은 가역성 치수염이 있는 치아에서 우식, 외상 또는 의인성으로 치수가 노출된 경우, 치수생활력을 보존하기 위해 직접치수복조술을 시행할 수 있다. 직접치수복조술은 우식 등의 자극인자를 제거하고, 치수조직 치유와 수복상아질 형성이 이루어질 수 있도록 치수 상방에 생체적합성 재료를 적용하는 술식으로, 치아를 보존하고 미성숙 영구치일 경우 지속적인 치

근발육을 가능하게 한다는 점에서 소아청소년치과에서 중요한 영역을 차지하고 있다[1,2].

직접치수복조술 시, 성공적인 치료결과를 얻기 위해서는 치수 상태의 정확한 진단, 우식 제거, 미세누출 방지, 무균적 술식이 필수적이며, 적절한 치수복조재를 선택해 적용해야 한다[1]. 이때 사용되는 치수복조재는 밀폐능력이 우수하고, 상아질교형성을 촉진시킬 수 있어야 하며, 습윤한 환경에서도 경화되고, 적절한 압축강도와 경도를 가지는 생체친화성 재료이어야 한다[3].

Corresponding author : Nanyoung Lee

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Chosun University, 303 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, 61452, Republic of Korea
Tel: +82-62-220-3860 / Fax: +82-62-225-8240 / E-mail: nandent@chosun.ac.kr

Received September 30, 2016 / Revised November 11, 2016 / Accepted November 11, 2016

※This study was supported by research fund from Chosun University, 2016.

또한 치료 실패의 원인이 주로 잔존 세균에 의한 감염이나 수복물 변연의 미세누출로 인한 새로운 세균의 감염에서 비롯된다는 점에서, 상부 수복재와 안정적인 결합을 이룰 수 있어야 한다[4].

전통적으로 사용되어 온 수산화칼슘은 높은 pH와 항균력을 지니며 수복상아질 형성을 유도하는 특성을 가진다. 그러나 상아질교에 다공성 결합이 나타날 수 있고, 접착능력 저하와 함께 수용성으로 점차 용해되어 미세누출이 발생할 수 있다는 단점을 지니고 있어 근래에는 mineral trioxide aggregate(MTA)를 치수복조재로 선호하는 경향이 있다[5]. MTA는 수산화칼슘에 비해 보다 균일하고 두꺼운 상아질교를 빠르게 형성하며, 낮은 용해성과 우수한 밀폐능력을 보인다. 또한 경화 과정에서 산화칼슘이 조직액과 반응하여 수산화칼슘을 형성해 pH를 증가시킴으로써 항균 효과를 나타낸다. 하지만 치아 변색을 야기할 수 있고, 조작성이 좋지 않으며, 무엇보다도 경화시간이 길어 완전한 경화가 이루어진 뒤 최종수복하기 위해 임시수복 후 재내원해야 한다는 점이 단점으로 지적되어 왔다[2,6].

이러한 한계를 극복하면서 MTA에 비견할만한 성질을 가지는 다양한 치수복조재들이 개발되었고, 그 중 Theracal LC™(Bisco Inc, USA)와 Biodentine™(Septodont, France)이 전통적인 MTA의 대안으로 주목받고 있다. 광중합형 MTA인 Theracal LC™는 기존 MTA보다 빠른 경화시간, 낮은 용해성, 높은 흐름성 등을 특징으로 하는 resin-modified calcium silicate-based MTA liner로, 직접 및 간접치수복조술을 위해 고안된 재료이다[7]. Biodentine™은 상아질 대체재로 개발된 calcium silicated-based restorative cement로 우수한 밀폐능력, 압축강도, 생체적합성, 생활성, 광화유도능력, 그리고 짧은 경화시간을 가져 다양한 치수치료 영역에서 활용되고 있다[6]. Theracal LC™는 광중합 직후,

Biodentine™은 약 12분 후 상부에 즉시 최종수복재를 위치시킬 수 있어, 임시수복 과정동안 미세누출 가능성이 있는 MTA에 비해 보다 안정적이고 바람직한 예후를 기대해 볼 수 있다[2,6].

치수복조재 적용 후 완전한 밀폐 여부는 치료의 성공을 좌우하는 요인이 될 수 있으며, 치수복조재가 치질과 상부 수복재 사이에 위치한다는 점에서 이들 각각에 대한 치수복조재의 결합력을 평가하는 것이 중요하다. 이에 tricalcium silicate 기반의 치수복조재들을 대상으로 치질 혹은 수복재에 대한 결합강도나 미세누출 정도를 평가한 연구들이 이루어져왔으나[8], 새롭게 도입된 Theracal LC™, Biodentine™과 기존에 널리 사용되어온 MTA 상부에 통상적인 수복재들을 적용했을 때의 결합강도를 종합적으로 비교한 연구는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 3종의 치수복조재(ProRoot™ White MTA, Theracal LC™, Biodentine™)와 3종의 수복재 (복합레진, 레진강화형 글래스아이오노머 시멘트, 전통적인 글래스아이오노머 시멘트) 간의 결합강도를 동일한 조건에서 비교 평가하고 파절 양상에 대해서 분석해보고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

본 연구에서는 3종의 치수복조재(ProRoot™ white MTA, Theracal LC™, Biodentine™)와 3종의 수복재(Filtek™ Z250, Ketac™ Molar, Fuji II LC™)를 사용하였으며, 동일 제조사의 접착 시스템 및 conditioner를 적용하였다. Table 1과 2에 각 연구 재료에 관한 자세한 내용을 기술하였다.

Table 1. Pulp capping materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition	
ProRoot™ white MTA	Dentsply Tulsa Dental, USA	Tricalcium silicate, bismuth oxide, dicalcium silicate, tricalcium aluminate, calcium sulfate dehydrate or gypsum	
Theracal LC™	Bisco Inc, USA	Tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium oxide, Bi_2O_3 , fumed silica, resin	
Biodentine™	Septodont, France	Liquid	Calcium chloride, water-reducing agent
		Powder	Tricalcium silicate, dicalcium silicate, calcium carbonate, calcium oxide, zirconium oxide

Table 2. Restorative materials used in this study

Material	Manufacturer	Composition	
Scotchbond™ Etchant	3M ESPE™, USA	35% H ₃ PO ₄	
Adper™ Single Bond 2	3M ESPE™, USA	Bis-GMA, HEMA, silica nanofiller, ethanol, water	
Filtek™ Z250	3M ESPE™, USA	Bis-GMA, UDMA, bis-EMA, zirconia/silica filler	
Dentin conditioner	GC Corp, Japan	10% polyacrylic acid	
Fuji II LC™	GC Corp, Japan	Liquid	Polyacrylic acid, HEMA, dimethacrylate, camphoroquinone, water
		Powder	Fluoro-alumino-silicate glass
Ketac™ Molar	3M ESPE™, USA	Liquid	Water, copolymer of acrylic acid-maleic acid, tartaric acid
		Powder	Oxide glass chemicals (non-fibrous), copolymer of acrylic acid-maleic acid, dichlorodimethylsilane reaction product with silica

2. 연구 방법

1) 시편 제작

중앙에 직경 5mm, 깊이 2mm의 와동이 형성된 직경 10mm, 높이 15mm의 아크릴 레진 블록 90개를 제작하였다. 이 중 30개의 블록 와동에 Theracal LC™(TLC)를 채운 뒤 LED light cure unit (VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)을 이용해 1200mW/cm²로 20초간 광중합하였다. 또 다른 30개의 블록 와동에는 제조사의 지시에 따라 혼합한 Biodentine™(BD)을 채우고 15분 동안 경화시켰다. 나머지 30개의 블록 와동에는 제조사의 지시에 따라 혼합한 ProRoot™ White MTA(WMTA)를 채운 뒤, 습윤한 거즈로 감싸 37°C, 100% 습도에서 72시간 동안 경화시켰다. 그러고 나서 다음과 같이 수복재에 따라 무작위로 10개씩 총 9개

의 하위 군으로 분류하였다(Table 3, Fig. 1).

글래스아이오노머 시멘트인 Ketac™ Molar(GIC)가 수복재로 선택된 1, 4, 7군은 치수복조재 상방에 제조사 지시에 따라 20초간 dentine conditioner로 처리한 뒤 수세하고, Ketac™ Molar를 직경 3mm, 높이 2mm의 원통형 플라스틱 튜브 내에 충전하여, 치수복조재 표면 중심에 위치시킨 뒤 5분간 경화시켰다.

레진강화형 글래스아이오노머 시멘트인 Fuji II LC™(RMGIC)가 수복재로 선택된 2, 5, 8군은 치수복조재 상방에 제조사 지시에 따라 20초간 dentine conditioner로 처리한 뒤 수세하고, Fuji II LC™를 직경 3mm, 높이 2mm의 원통형 플라스틱 튜브 내에 충전하여, 치수복조재 표면 중심에 위치시킨 뒤 LED light cure unit (VALO LED, Ultradent, South Jordan, USA)로 20초간 광중합하였다.

복합레진인 Filtek™ Z250(CR)가 수복재로 선택된 3, 6, 9군은 치수복조재 상방을 15초간 35% 인산으로 산부식 하고 10초간 수세한 뒤 건조시키고, 5세대 접착시스템인 Adper™ Single Bond 2를 도포하고 20초간 광중합한 뒤 Filtek™ Z250을 튜브 내에 충전하여, 치수복조재 표면 중심에 위치시키고 20초간 광중합하였다.

그리고 나서 모든 군의 플라스틱 튜브를 조심스럽게 제거한 뒤 표본을 37°C, 100% 습도에서 24시간 동안 보관하였다.

2) 전단결합강도 측정

전단결합강도 검사를 위해 universal testing machine (Shimadzu universal testing machine EZ-S, Japan)을 이용하여 각 블록에 cross head speed 0.5 mm/min의 속도로 전단력을 가해 복조재에서 수복재가 탈락될 때의 최대 하중을 구하고, 이를 단위면적당 결합강도(MPa)로 환산하였다(Fig. 2).

Table 3. Experimental group

Group	Materials		N
	Pulp capping material	Restorative material	
1		Ketac™ Molar	10
2	Theracal LC™	Fuji II LC™	10
3		Filtek™ Z250	10
4		Ketac™ Molar	10
5	Biodentine™	Fuji II LC™	10
6		Filtek™ Z250	10
7		Ketac™ Molar	10
8	ProRoot™ WMTA	Fuji II LC™	10
9		Filtek™ Z250	10

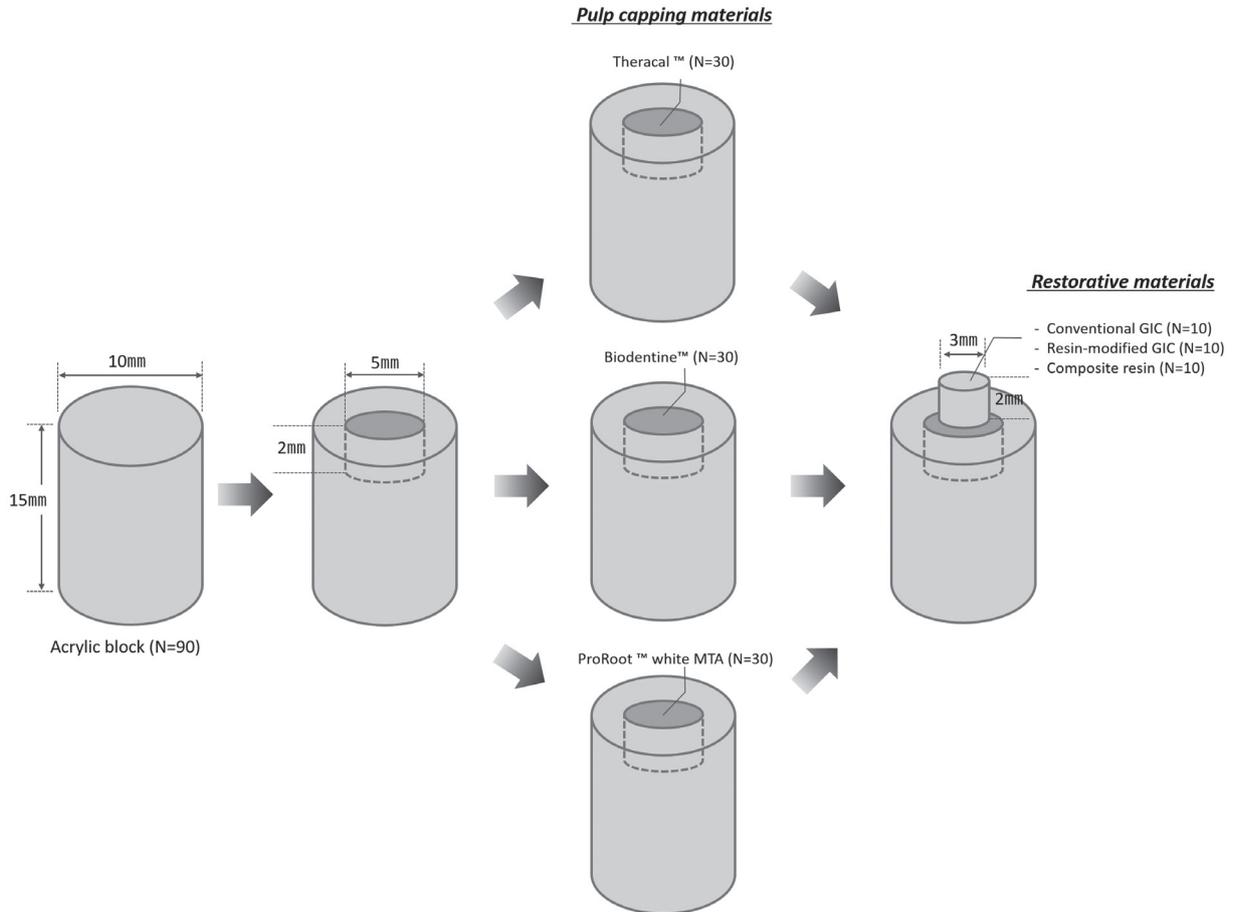


Fig. 1. Schematic illustration of the preparation of the samples.

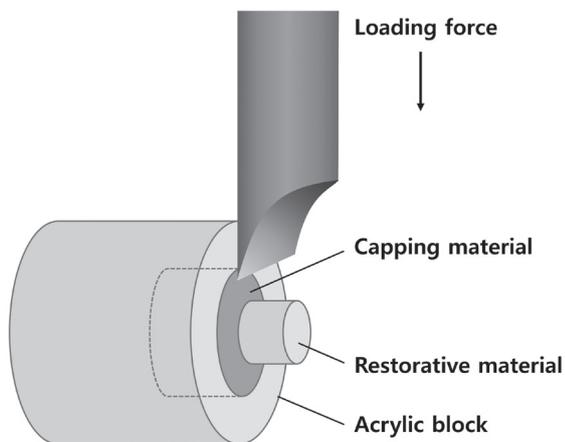


Fig. 2. Schematic illustration of the shear bond strength test set-up.

3) 파절 양상 판별

전단결합강도 검사 후, 파절된 표면을 $\times 25$ 배율의 stereomicroscope (Olympus SZ61[®], Japan)을 이용해 파절된 표면을 다음과 같이 분류하였다.

- (1) 부착성 파절 (Adhesive fracture)
- (2) 응집성 파절 (Cohesive fracture)
- (3) 혼합성 파절 (Mixed fracture)

4) 통계학적 분석

조사된 자료를 SPSS(version 18.0.0, SPSS, Chicago IL)를 이용하여 분석 및 통계처리 하였으며 유의 수준은 0.05로 설정하였다. 각 군간 전단결합강도를 비교하기 위해 Kruskal-Wallis test를 이용하였으며, Mann-Whitney test로 사후검정을 시행하였다. 또한 파절양상의 비교를 위해 Fisher's exact test를 시행하였다.

III. 연구 성적

1. 전단결합강도 측정

1) 평균 전단결합강도

본 연구에서 측정한 치수복조재와 수복재 간 평균 전단결합강도는 Table 4와 같다. TLC-CR(17.44±2.95 MPa)이 가장 높은 전단결합강도를, TLC-GIC(1.11±0.79 MPa)가 가장 낮은 전단결합강도를 보였다. 전체 군의 평균 전단결합강도를 비교했을 때 TLC-CR, TLC-RMGIC, BD-CR, WMTA-CR, BD-RMGIC, BD-GIC, WMTA-RMGIC, WMTA-GIC 순으로 높은 값을 보였다.

2) 치수복조재에 대한 수복재의 전단결합강도 비교

3종의 치수복조재를 기준으로 각 수복재의 전단결합강도 비교하여 Fig. 3에 제시하였다. 치수복조재가 TLC 혹은 BD인 경우, 수복재 간 전단결합강도 차이는 유의했으며, CR, RMGIC, GIC 순으로 높은 값을 보였다. 치수복조재가 WMTA인 경우에는 CR와의 전단결합강도가 가장 높았으나 RMGIC와 GIC 간에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

3) 수복재에 대한 치수복조재의 전단결합강도 비교

3종의 수복재를 기준으로 각 치수복조재의 전단결합강도 비교하여 Table 5에 제시하였다. 수복재가 GIC일 때, 치수복조재 중 BD의 전단결합강도가 다른 치수복조재에 비해 유의하게 높았으며, TLC와 WMTA의 전단결합강도 차이는 유의하지 않았다.

수복재가 RMGIC인 경우, TLC와의 전단결합강도가 다른 치수복조재에 비해 월등하게 높은 값을 보였으며, TLC, BD, WMTA 순으로 유의한 차이를 나타냈다. 수복재가 CR일 때도 TLC와의 전단결합강도가 유의하게 높은 값을 보였으며, BD와 WMTA 간에는 유의한 차이가 없었다.

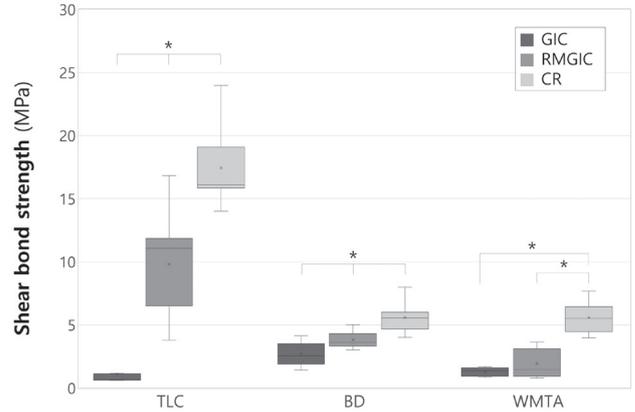


Fig. 3. Comparisons of shear bond strength of the studied samples according to pulp capping materials.

* : statistically difference by Mann-Whitney Test ($p < 0.05$)
 TLC: Theracal LC™, BD: Biodentine™, WMTA: ProRoot™ white MTA, GIC: Ketac™ Molar, RMGIC: Fuji II LC™, CR: Filtek™ Z250.

Table 4. Mean shear bond strength (MPa) of the studied samples

	Group	N	Mean SBS (MPa)	Maximum SBS (MPa)	Minimum SBS (MPa)
1	TLC - GIC	10	1.11±0.79	2.8	0.594
2	TLC - RMGIC	10	9.81±4.04	16.83	3.787
3	TLC - CR	10	17.44±2.95	23.97	13.99
4	BD - GIC	10	2.70±0.96	4.155	1.408
5	BD - RMGIC	10	3.82±0.68	5.01	3.014
6	BD - CR	10	5.59±1.23	7.995	4.002
7	WMTA - GIC	10	1.29±0.35	1.676	0.85
8	WMTA - RMGIC	10	1.94±1.19	3.649	0.785
9	WMTA - CR	10	5.58±1.24	7.657	3.969

SBS: Shear bond strength, TLC: Theracal LC™, BD: Biodentine™, WMTA: ProRoot™ white MTA, GIC: Ketac™ Molar, RMGIC: Fuji II LC™, CR: Filtek™ Z250.

Table 5. Comparisons of shear bond strength (mean±standard deviation) of the studied samples according to restorative materials

Restorative materials	Capping materials						
	TLC (MPa)	BD (MPa)	WMTA (MPa)	p value	p value ^a	p value ^b	p value ^c
GIC	1.11±0.79	2.70±0.96	1.29±0.35	0.001*	0.008**	0.1206	0.003**
RMGIC	9.81±4.04	3.82±0.68	1.94±1.19	0.000*	0.003**	0.001**	0.015**
CR	17.44±2.95	5.59±1.23	5.58±1.24	0.000*	0.001**	0.001**	0.970

p value = Kruskal-Wallis Test (* : $p < 0.05$)

p value = Mann-Whitney Test (** : $p < 0.017$)

a : p value of TLC vs BD, b : p value of TLC vs WMTA, c : p value of BD vs WMTA

TLC: Theracal LC™, BD: Biodentine™, WMTA: ProRoot™ white MTA, GI: Ketac™ Molar, RMGI: Fuji II LC™, CR: Filtek™ Z250.

Table 6. Distribution of failure mode between restorative materials and capping materials

Restorative material	Capping material	Failure mode			No.	p -value
		Adhesive	Cohesive	Mixed		
GIC	TLC	7	0	3	10	0.000*
	BD	6	0	4	10	
	WMTA	0	6	4	10	
RMGIC	TLC	7	0	3	10	0.002*
	BD	0	0	10	10	
	WMTA	2	0	8	10	
CR	TLC	6	1	3	10	0.000*
	BD	2	2	6	10	
	WMTA	0	9	1	10	

Fisher's extract test (* : $p < 0.05$)

TLC: Theracal LC™, BD: Biodentine™, WMTA: ProRoot™ white MTA, GIC: Ketac™ Molar, RMGIC: Fuji II LC™, CR: Filtek™ Z250.

2. 파절 양상 판별

본 연구의 파절양상 분석 결과를 Table 6에 기술하였다. 수복재가 GIC일 때, TLC와 BD는 부착성 파절, WMTA는 응집성 파절 양상을 보였다. 수복재가 RMGIC인 경우, TLC는 부착성 파절이, BD와 WMTA는 혼합성 파절이 주로 발생했다. 수복재가 CR인 경우 TLC는 부착성 파절, BD는 혼합성 파절, 그리고 WMTA는 응집성 파절 양상을 보였다. 응집성 파절은 모두 치수복조재 내에서 발생하였다.

IV. 총괄 및 고찰

치수복조재와 수복재 간 결합력은 치질과 수복재 간 결합력 만큼 치료의 질적인 부분에 있어 중요한 요소이므로 모든 응력

이 접촉면에 평행하게 직접적으로 가해져 결합력 평가에 이상적인 전단결합강도 측정을 통해 이들 재료 간 결합력을 평가한 연구들이 다수 보고되어 왔다[2,9]. 그러나 전단결합강도는 측정 시 시편의 상태나 하중이 가해지는 속도, 하중을 가하는 위치 등에 따라 결과 값에 영향을 줄 수 있어, 기존에 개별적으로 보고된 수종의 치수복조재와 수복재 간 결합력을 종합적으로 비교하기에는 다소 어려운 바가 있다[10]. 이에 본 연구에서는 Theracal LC™, Biodentine™, ProRoot™ WMTA와 같은 tricalcium silicate 기반의 치수복조재와 임상에서 통상적으로 사용되는 수복재인 복합레진, 레진강화형 글래스아이오노머, 전통적인 글래스아이오노머 간의 전단결합강도를 동일선상에서 비교해보고자 하였다.

본 연구 결과, TLC-CR군이 평균 17.44 ± 2.95 MPa로 가장 높은 강도를 나타내며, BD 혹은 WMTA를 적용한 CR군과는 통계

학적으로 유의한 차이를 보였다. TLC/MTA에 대한 CR/GIC의 전단결합강도를 비교한 Cathekin[2]의 연구 결과 역시 MTA-CR군 (8.5 ± 5.3 MPa)에 비해 TLC-CR군의 전단결합강도가 평균 19.3 ± 8.4 MPa로 유의하게 높은 값을 보이는 것으로 나타났다. 복합레진은 우수한 물성과 심미성으로 인해 임상에서 우선적으로 선택되는 수복재료, 빈틈없는 변연을 형성하기 위해 수축력에 충분히 저항할 수 있는 결합강도의 범위는 17 MPa에서 20 MPa 사이로 추정된다[6]. 즉, 본 연구에서 수복재료 CR을 선택한 경우 TLC군만이 임상적으로 허용할만한 수준의 전단결합강도를 보인다고 할 수 있으며, 이러한 결과는 다음과 같이 TLC와 CR 자체의 특성뿐만 아니라 이들 사이에 적용된 접착시스템에 의한 것으로 사료된다. 우선 TLC와 CR 모두 광중합을 통해 초기 응집력을 확보할 수 있어 보다 안정적인 환경에서 재료 간 결합을 이룰 수 있다[7]. 또한 유사한 레진화합물로 구성되어 레진접착제 내 Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)를 매개로 진성 화학결합을 형성함과 동시에, TLC와 CR의 산소저해층 내 미반응 methacrylate group 간 공중합(copolymerization)으로 부가적인 화합물을 형성함으로써 결합력이 강화되었을 것으로 생각된다[11,12]. 본 연구에서는 self etching보다 total etching 접착시스템 적용 시 더 유지력이 좋은 미세공극이 형성되어 최적의 전단결합강도를 얻을 수 있다는 보고를 토대로, CR군에 공통적으로 total etching 접착시스템을 적용하였다[2,13]. 그 결과, GIC와 RMGIC군에서의 약산을 이용한 전처치에 비해 인산을 이용한 산부식이 기질의 표면 거칠기를 현저하게 증가시켜 미세기계적 결합과 함께 접착제 침투를 효과적으로 유도함으로써 전단결합강도 증가에 기여한 것으로 보인다[14,15]. TLC-RMGIC군의 결합강도는 9.81 ± 4.04 MPa로 9개 군 중 두 번째로 높은 값을 나타냈는데, 이는 TLC-CR군과 비슷한 맥락에서 이해할 수 있다. 즉, RMGIC 역시 광중합 후 치수복조재와 결합하기 충분한 물성을 보이며, 표면 젖음성을 위해 첨가된 HEMA가 친수성과 소수성 층을 균일화시켜 결합강도를 증진시켰을 것이다[16,17]. TLC-GIC군이 가장 낮은 결합강도(1.11 ± 0.79 MPa)를 나타낸 것은 GIC군에는 HEMA와 같은 TLC와 상호작용할 수 있는 성분이 함유되지 않아 두 재료 간 화학적 결합이 아닌 미세기계적 결합이 결합강도를 결정했기 때문인 것으로 보인다[18].

본 연구에서 치수복조재가 BD일 때, CR, RMGIC, GIC 순으로 유의하게 높은 전단결합강도를 나타냈다. 그러나 이 중 가장 강한 결합력을 보인 BD-CR군(5.59 ± 1.23 MPa)조차 CR의 중합수축력에 대항하기에는 부족한 전단결합강도를 보이고 있다. 이렇게 BD군의 낮은 전단결합강도는 낮은 초기 응집강도에서 비롯된 것으로 보인다. BD는 분말과 액체를 혼합한 후 약 12분 동안 초기 경화반응을 거치며 수화된 calcium silicate gel 구조를 형

성하는 데, 이는 표면에 국한되어 있어 전체적인 물리기계적 강도는 약한 상태이다[6]. 다공성 재료인 BD가 중합수축에 저항하기 위한 물성을 지니기 위해서는 calcium silicate hydrate gel 구조의 결정화를 통한 성숙기간이 필요하며, 최소 2주간의 시간이 소요된다[18]. 본 연구에서는 1회 내원 임상 술식을 재현하기 위해 15분 후 BD 상방에 즉시 수복재를 위치시키고 24시간 후 전단결합강도를 측정하였는데, BD 내부의 성숙이 충분하게 이루어지지 않은 상태에서 전단력이 가해짐에 따라 상대적으로 낮은 결합강도와 응집성 파괴양상이 초래된 것으로 보인다. 한편 Cantekin 등[6]은 BD와 methacrylate-based (MB) composites 간 전단결합강도는 임상적으로 허용할만한 수치인 17.7 ± 6.2 MPa를, BD와 silorane-based (SM) composites 간 전단결합강도는 8.0 ± 3.6 MPa 라 보고한 바 있다. 이는 본 연구의 결과와 다소 차이가 있는데, 그 원인으로는 전단결합강도 측정 시 하중을 가하는 속도나 최대 하중의 크기 등 실험방법 상 차이와 더불어, 본 연구에서 BD를 아크릴 레진 블록에 충전하고 경화되는 15분간 특별한 처치를 하지 않은 것과 달리 Cantekin 등은 100% 습도에서 15분간 BD 표본을 보관하였다는 점에서 BD 초기경화 시 습도의 영향을 생각해볼 수 있다. 치수복조재가 WMTA인 경우, 수복재가 CR일 때의 전단결합강도는 5.58 ± 1.24 MPa로, 수복재가 RMGIC이거나 GIC일 때보다 유의하게 높은 값을 보였으며, RMGIC군과 GIC군 간에는 유의한 차이가 없었다. WMTA는 레진 구조 없이 calcium silicate, tricalcium aluminate, tricalcium oxide, silicate oxide 등으로 구성되어 있어, 레진 구조가 함유된 TLC에 비해 생체친화적일 수 있으나 복합레진과의 관계는 온전히 미세기계적 결합에 의존하게 된다[19]. 미세기계적 결합은 표면의 물리적 양상과 직결되므로 산부식과 같은 표면 처치 방법이 결합력에 주요한 영향을 미쳤으리라 유추할 수 있다[14,15]. Ajami 등[4]은 MTA에 대한 산부식 효과를 SEM으로 관찰하였을 때, 산부식 중에 표면의 gel-유사 불규칙 구조와 축 형태의 결정이 제거되며 결정화 구조 주위 기질의 선택적 소실로 인해 벌집 형태가 형성되어 CR가 결합에 유리한 표면이 조성된다고 밝혔다. 반면 RMGIC군과 GIC군은 약산인 polyacrylic acid(dentin conditioner)로 표면 전처치를 시행해, 부식능력과 표면 거칠기 증가에 대한 영향력이 낮아져 결과적으로 미세기계적 결합이 결합력에 기여하는 비중은 적다고 볼 수 있다[20]. Polyacrylic acid의 카르복실기가 MTA의 칼슘과 상호작용하여, 칼슘염을 형성하거나 MTA의 silicate hydrate gel이 GIC의 silicate hydrate gel과 응축되어 부산물을 형성할 수 있다[19]. 이로부터 추정해 본다면 이들의 화학적 결합이 결합력에 기여하는 바가 클 것으로 보이며 이에 관해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

파절양상 분석 결과, TLC가 치수복조재로 선택된 군에서는

부착성 파절양상이 대부분이었던 반면 (GIC:70%, RMGIC:70%, CR:60%), BD가 치수복조재로 선택된 군에서는 부착성(GIC:60%, RMGIC:100%)과 혼합성(CR:60%) 파절 양상이, WMTA가 치수복조재로 선택된 군에서는 응집성(GIC:60%, CR:90%)과 혼합성(RMGIC:80%) 파절 양상이 주로 관찰되었으며, 응집성 파절은 모두 치수복조재 내에서 발생하였다. 일반적으로 응집성 파절이 많을수록 재료 간 결합력이 강하다고 볼 수 있는데 흥미롭게도 본 연구 결과, 높은 전단결합강도를 보였던 TLC군에서 대부분 부착성 파절이 관찰되고 상대적으로 낮은 전단결합강도를 보인 BD와 WMTA군에서는 혼합성과 응집성 파절 빈도가 높게 나타났다. 응집성 파절은 치수복조재와 수복재 간 결합력이 높은 것이라고 볼 수도 있지만, 다른 측면에서 보면 치수복조재의 압축강도가 결합강도에 비해 약해 치수복조재 내에서 파절이 발생한 것이라 해석할 수도 있다[21-23]. MTA와 수복재 간 파절양상을 다룬 한 연구에서도 이와 유사하게 MTA 내에서의 응집성 파절이 주로 나타났으며 시간이 경과함에 따라 MTA의 압축강도가 개선되어 응집성 파절 양상이 더 줄어들었다고 보고한 바 있다[4]. 즉, 상기 결과는 각 재료의 압축강도 차이에 기인한 것으로 사료되며 향후 재료별 압축강도 측정과 주사전자현미경 등을 이용한 표면 분석 등 후속 연구를 통해 이를 규명할 필요가 있다.

본 연구 결과 TLC-CR군의 전단결합강도가 가장 우수하고 임상적으로 허용할만한 특성을 보이고 있어 직접치수복조술 시 우선적으로 선택할 만하며, 치수복조재인 TLC, BD, WMTA 모두 CR과 결합하였을 때 가장 높은 전단결합강도를 보여, 상부 수복재로 CR을 선택하는 것이 바람직한 예후에 도움이 되리라 사료된다. 그러나 러버덤 등을 이용한 완벽한 방습에 어려움이 있고, 우식활성이 높은 환자와 같이 GIC 적응증에 해당되는 경우나 불확실한 예후로 경과관찰이 필요한 경우에서 직접치수복조술을 시행해야 할 때는 GIC와 가장 높은 결합력을 보였던 BD를 치수복조재로 선택하는 것이 유리할 수 있다.

치수복조재와 수복재 간 결합력은 재료의 물리화학적 특성, 치수복조재와 수복재 간 결합 특성, 그리고 사용된 접착시스템의 종류 및 전처치 과정에 영향을 받을 수 있다[7,24]. 본 연구는 3종의 tricalcium silicate 기반 치수복조재에 대한 다양한 수복재의 전단결합강도 비교를 목적으로 하여, 기존에 각 재료별로 경화시간이나 접착제 종류, 처치 방법을 변수로 전단결합강도를 평가한 논문들을 토대로 가능한 한 최적의 값을 나타낼 수 있는 조건으로 각 실험군을 설정하였다. 그러나 재료 각각에 대해 경화시간이나 접착시스템의 종류, 처치 방법 등에 따라 파절양상과 전단결합강도가 달라질 수 있다는 측면에서, 본 연구의 한계를 지적할 수 있으며 이러한 변수의 영향을 비교하기 위한 후속 연구가 필요하다. 또한 다양한 변수의 영향을 받는다는 것은 철

저하게 통제된 실험조건 하에서 더 많은 수의 시편을 대상으로 한 추가적인 연구의 필요성을 시사하며, 나아가 실제 임상에서는 본 연구에서 다룬 치수복조재와 수복재 간 결합력뿐만 아니라 치질에 대한 치수복조재와 수복재 각각의 결합력과 재료 자체의 응집력, 중합수축력 등 여러 가지 인자가 복합적으로 작용한다는 점에서 이들에 대한 후속 연구가 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

Tricalcium silicate 기반 치수복조재(TLC, BD, WMTA) 와 임상에서 통상적으로 사용되는 수복재인 CR, RMGIC, GIC의 전단결합강도를 비교 평가한 결과, TLC-CR군이 가장 높은 전단결합강도를 나타냈으며, TLC-GIC군이 가장 낮은 전단결합강도를 나타냈다. CR이 수복재인 군들이 다른 수복재 군들에 비해 유의하게 높은 전단결합강도를 보였으며, GIC가 수복재인 경우 BD가 TLC나 MTA군에 비해 통계학적으로 유의하게 높은 전단결합강도를 보였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 치수복조재와 수복재 간 특성에 따라 결합력 차이가 존재하므로 직접치수복조술 시 이를 고려하여 재료를 선택해야 한다고 사료된다.

References

1. Akhlaghi N, Khademi A : Outcomes of vital pulp therapy in permanent teeth with different medicaments based on review of the literature. *Dent Res J*, 12:406-417, 2015.
2. Cantekin K : Bond strength of different restorative materials to light-curable mineral trioxide aggregate. *J Clin Pediatr Dent*, 39:143-148, 2015.
3. Gulati S, Shenoy VU, Margasahayam SV : Comparison of shear bond strength of resin-modified glass ionomer to conditioned and unconditioned mineral trioxide aggregate surface: An in vitro study. *J Conserv Dent*, 17:440-443, 2014.
4. Ajami AA, Navimipour E, Daneshpooy M, et al. : Comparison of shear bond strength of resin-modified glass ionomer and composite resin to three pulp capping agents. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 7:164-168, 2013.
5. Nowicka A, Lipski M, Buczkowska-Radlińska J, et al. : Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 39:743-747, 2013.
6. Cantekin K, Avci S : Evaluation of shear bond strength of two resin-based composites and glass ionomer cement to pure tricalcium silicate-based cement (Biodentine®). *J Appl*

- Oral Sci*, 22:302-306, 2014.
7. Deepa VL, Dhamaraju B, Bollu IP, Balaji TS : Shear bond strength evaluation of resin composite bonded to three different liners: TheraCal LC, Biodentine, and resin-modified glass ionomer cement using universal adhesive: An in vitro study. *J Conserv Dent*, 19:166-170, 2016.
 8. Kaup M, Dammann CH, Schäfer E, Dammaschke T : Shear bond strength of Biodentine, ProRoot MTA, glass ionomer cement and composite resin on human dentine ex vivo. *Head Face Med*, 19;11-14, 2015.
 9. DeHoff PH, Anusavice KJ, Wang Z : Three-dimensional finite element analysis of the shear bond test. *Dent Mater*, 11:126-131, 1995.
 10. Yoon EY, Lee NY, Lee SH : Shear bond strength of giomer and self-etching primer of the dentin. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37: 422-428, 2010.
 11. Li J, Liu Y, Sundström F, *et al.* : Flexure strength of resin-modified glass ionomer cements and their bond strength to dental composites. *Acta Odontol Scand*, 54:55-58, 1996.
 12. Kerby RE, Knobloch L : The relative shear bond strength of visible light-curing and chemically curing glass-ionomer cement to composite resin. *Quintessence Int*, 23:641-644, 1992.
 13. Bayrak S, Tunç ES, Saroğlu I, Eğılmez T : Shear bond strengths of different adhesive systems to white mineral trioxide aggregate. *Dent Mater J*, 28:62-67, 2009.
 14. Shin JH, Jang JH, Park SH, Kim E : Effect of mineral trioxide aggregate surface treatments on morphology and bond strength to composite resin. *J Endod*, 40:1210-1216, 2014.
 15. Kayahan MB, Nekoofar MH, Dummer PM *et al.* : Effect of acid-etching procedure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*, 42:1004-1014, 2009.
 16. Cengiz E, Ulusoy N : Microshear bond strength of Tri-calcium silicate-based cements to different restorative materials. *J Adhes Dent*, 18:231-237, 2016.
 17. Karadas M, Cantekin K, Duymuş ZY *et al.* : Evaluation of the bond strength of different adhesive agents to a resin-modified calcium silicate material (TheraCal LC). *Scanning*, 10, 2015.
 18. Hashem DF, Foxton R, Banerjee A, *et al.* : The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. *Dent Mater*, 30:343-349, 2014.
 19. Yesilyurt C, Yildirim T, Taşdemir T, Kusgoz A : Shear bond strength of conventional glass ionomer cements bound to mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 35:1381-1383, 2009.
 20. Raju VG, Venumbaka NR, Elangovan A, *et al.* : Comparative evaluation of shear bond strength and microleakage of tri-calcium silicate-based restorative material and radioopaque posterior glass ionomer restorative cement in primary and permanent teeth: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent*, 32:304-310, 2014.
 21. Ballal S, Venkateshbabu N, Nandini S, Kandaswamy D : An in vitro study to assess the setting and surface crazing of conventional glass ionomer cement when layered over partially set mineral trioxide aggregate. *J Endod*, 34:478-480, 2008.
 22. Eid AA, Komabayashi T, Watanabe I, *et al.* : Characterization of the mineral trioxide aggregate-resin modified glass ionomer cement interface in different setting conditions. *J Endod*, 38:1126-1129, 2012.
 23. Camilleri J : Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent*, 41:600-610, 2013.
 24. Lee SR, Moon YM, Hwang SJ, Seo MS : The effect of acid-etch procedure on the bond between composite resin and mineral trioxide aggregate. *Korean J Dent Mater*, 41:53-57, 2014.

국문초록

Tricalcium Silicate-Based 치수복조재에 대한 수 중 수복재의 전단결합강도 비교

정화경 · 이난영 · 이상호

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

본 연구의 목적은 Tricalcium silicate를 기반으로 한 3종의 치수복조재(Theracal LC™, Biodentine™, ProRoot™ white MTA)와 임상에서 통상적으로 사용되는 수복재인 복합레진, 레진강화형 글래스아이오노머 시멘트, 그리고 전통적인 글래스아이오노머 시멘트 간의 전단결합강도를 비교 평가하는 것이다. 이를 위해 중심구를 가진 아크릴 레진 블록 90개를 제작하고 각각 30개씩 3종의 치수복조재로 중심구 안에 채운 다음, 다시 무작위로 10개씩 하위 군을 나누어 치수복조재 상방에 복합레진, 레진강화형 글래스아이오노머 시멘트, 전통적인 글래스아이오노머 시멘트를 적용하여 총 9개 군으로 이루어진 시편을 제작하였다. Universal testing machine을 이용해 전단결합강도를 측정하고, 입체현미경을 사용해 파절양상을 분석하였다. 연구 결과, Theracal LC™-복합레진 군이 가장 높은 전단결합강도를, Theracal LC™-전통적인 글래스아이오노머 시멘트 군이 가장 낮은 전단결합강도를 나타냈다. 복합레진이 수복재로 선택된 군들이 다른 수복재 군에 비해 높은 전단결합강도를 보였다. 전통적인 글래스아이오노머 시멘트가 수복재인 경우 Biodentine™이 다른 치수복조재 군들에 비해 높은 전단결합강도를 나타냈다.

주요어: 치수복조재, Biodentine™, Theracal LC™, Mineral trioxide aggregate, 전단결합강도, 파절양상