

Cementation of indirect restorations: Strategies for reducing clinical failures

심미수복물의 접착: 실패를 줄이기 위한 술식들

Mi-Jeong Jeon 

Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University, Seoul, Korea

ABSTRACT

With advances in resin cements and the introduction of various functional monomers, esthetic indirect restorations have gradually shifted toward a bonding-based concept. These changes, along with the concept of minimally invasive dentistry, has made it possible to reduce unnecessary tooth reduction for mechanical retention and to design restorations that rely more on adhesion. Bonding of indirect esthetic restorations creates multiple interfaces among the restoration, cement, and tooth structure and depending on the type of restorative material and cement used, different clinical approaches and surface treatment strategies are required. Therefore, the success of indirect aesthetic restoration depends on an accurate understanding of each interface and the application of appropriate clinical techniques. In this report, clinical procedures for successful bonding of indirect restorations using various esthetic restorative materials will be introduced. (*J Korean Dent Assoc* 2026; 64(6): 204-210)

Key words : Cementation; Dental Bonding; Resin Cements; Dental Restoration, Permanent; Esthetics, Dental

서론

환자들의 치아수복에 대한 심미적인 관심이 지속적으로 높아지고 다양한 심미 재료와 임상 술식의 발전이 이루어지면서, 구치부에서도 심미 재료를 이용한 간접 수복은 점차 일상적인 치료 선택지로 자리잡고 있다¹⁾. 과거 많이 사용되던 금속 기반 수복물은 주로 기계적 유지와 합착(cementation)의 개념에 기반하였다. 즉, 수복물이 탈락하지 않도록 와동 형태와 보철물 형태에서 유지와 저항 형태를 충분히 부여하고, 시멘트는 수복물과 치질 사이의 공간을 채우며 보조적으로 유지에 기여하는 역할을 담당하였다.

그러나 세라믹, 지르코니아, 레진 매트릭스 세라믹과 같은 심미 간접수복 재료와, 레진 시멘트의 발전이 이루어지면서

간접수복의 개념은 점차 접착(bonding)을 기반으로 변화하고 있다²⁾. 이러한 변화는 최소침습치의학(minimally invasive dentistry)의 흐름과도 밀접하게 관련된다. 유지 형태를 얻기 위해 건전 치질을 불필요하게 삭제하기보다는, 치질과 수복물 사이의 안정적인 접착을 이용하여 수복물을 유지하고 기능적 예후를 확보하는 방향으로 수복 설계가 변화하고 있다.

수복물-레진 시멘트-치질 사이에는 여러 경계면이 형성되며, 각 경계면은 서로 다른 물리적·화학적 특성을 가진다. 따라서 수복 재료의 종류, 치질 상태, 시멘트의 종류, 표면 오염 여부, 격리 상태 등에 따라 접착 결과가 크게 달라질 수 있다. 본 지에서는 다양한 심미 수복 재료에 따른 간접 수복물의 성공적인 접착을 위한 임상 술식을 소개하고자 한다.

간접심미수복물 접착의 기본 원칙

간접 수복물의 접착은 수복물 내면, 레진 시멘트, 법랑질 및

*Corresponding author: Prof. Mi-Jeong Jeon
 Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Yonsei University,
 50-1 Seodaemun-gu, Yonsei-ro, Seoul, Korea
 Tel: +82-2-2228-3150, E-mail: mjj@yuhs.ac

상아질 표면이 하나의 결합 구조를 형성하는 것이 중요하다. 따라서 심미 간접수복의 성공을 위해서는 각 계면의 특성을 이해하고, 재료에 적합한 표면 처리와 접착 술식을 정확히 적용하는 것이 필수적이다.

1. 표면 에너지와 미세기계적 결합

접착이 효과적으로 이루어지기 위해서는 접착제 또는 레진 시멘트가 접착면을 충분히 적실 수 있어야 한다. 이를 위해서는 접착면의 표면 에너지를 높이는 과정이 필요하다. 표면 에너지가 높은 접착면은 젖음성(wettability)이 높고 접촉각(contact angle)이 낮아 접착제 또는 레진 시멘트가 접착면과 넓게 접촉할 수 있으며, 이는 미세 요철 내로의 침투와 안정적인 접착 계면 형성에 유리하다³⁾.

임상적으로는 피착면의 표면 에너지를 높이고 미세기계적 결합을 확보하기 위해 다양한 표면 처리 방법이 사용된다. 치질 표면에서는 인산 에칭을 통해 법랑질의 미세 요철을 형성하거나, 산성 기능성 모노머를 포함한 접착제를 이용하여 상아질 표면을 처리할 수 있다. 이러한 처리는 레진 성분이 치질 표면의 미세 구조 안으로 침투하여 중합될 수 있는 환경을 제공한다⁴⁾.

수복물 내면에서도 재료의 특성에 따라 적절한 표면 처리가 필요하다. 임상적으로는 산 처리나 샌드블라스팅과 같은 방법을 통해 수복물 내면의 표면 거칠기를 증가시키고, 레진 시멘트가 침투할 수 있는 미세한 표면 구조를 형성할 수 있다⁵⁾. 이러한 과정은 레진 시멘트와 수복물 사이의 미세기계적 결합을 확보하기 위한 중요한 단계이다. 각 수복 재료에 따른 구체적인 표면 처리 방법과 임상적 고려사항은 뒤에서 자세히 살펴보고자 한다.

2. 화학적 결합과 기능성 모노머

간접 심미수복물의 접착 안정성은 미세기계적 결합뿐 아니라 화학적 결합에 의해서도 영향을 받는다. 화학적 결합은 기능성 모노머나 커플링제를 통해 수복물 표면, 치질, 레진 시멘트 사이에 화학적 연결이 형성되는 것을 의미한다.

10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate(10-MDP)는 현재 널리 사용되는 기능성 모노머 중 하나이다. 10-MDP는 한쪽 말단에 인산기(phosphate group)를, 다른 쪽 말단에 메타크릴레이트기(methacrylate group)를 가지는 양기

High Surface Energy



Low Surface Energy



Fig. 1. Differences in wettability according to surface energy.

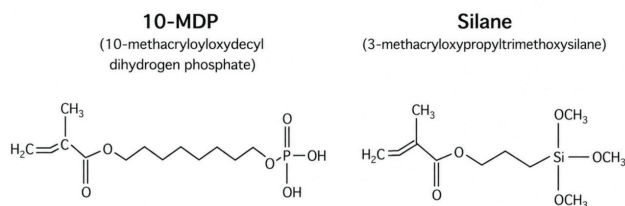


Fig. 2. Molecular structures of 10-MDP and silane.

능성 분자이다. 인산기는 치질의 수산화인회석과 칼슘염 형태의 결합을 형성할 수 있으며, 지르코니아나 알루미늄과 같은 산화물 표면에서는 표면 수산화기 또는 산화물층과 화학적 상호작용을 할 수 있다. 반대쪽의 메타크릴레이트기는 레진 시멘트의 레진 매트릭스와 공중합에 참여한다. 이러한 구조적 특성으로 인해 10-MDP는 치질 또는 일부 수복 재료 표면과 레진 시멘트 사이의 화학적 연결에 관여한다⁶⁾.

실란(silane)은 실리카를 포함하는 유리 세라믹에 사용되는 커플링제이다. 실란은 한쪽 말단에 세라믹 표면의 실리카 성분 또는 표면 수산화기와 반응할 수 있는 알콕시기(alkoxy group)를 가지고 있고, 다른 쪽 말단에는 레진 시멘트의 레진 매트릭스와 반응할 수 있는 메타크릴레이트기를 가진다. 알콕시기는 가수분해 후 실란올기(silanol group)로 전환되고, 유리 세라믹 표면과 반응하여 실록산 결합(siloxane bond, Si-O-Si)을 형성할 수 있다. 이러한 구조로 인해 실란은 유리 세라믹과 레진 시멘트 사이의 커플링제로 사용된다⁷⁾.

수복 재료별 표면처리 방법

1. Glass ceramic

유리 세라믹은 실리카 기반 유리상을 포함하는 세라믹으로, 대표적으로 장석계 세라믹(feldspathic ceramic)과 리튬 디실리케이트 세라믹(lithium disilicate ceramic)이 포함된다. 이 재료군은 불산 처리(hydrofluoric acid etching)를 통해 표면의 유리상을 선택적으로 용해시킬 수 있다. 이 과정에서 미세

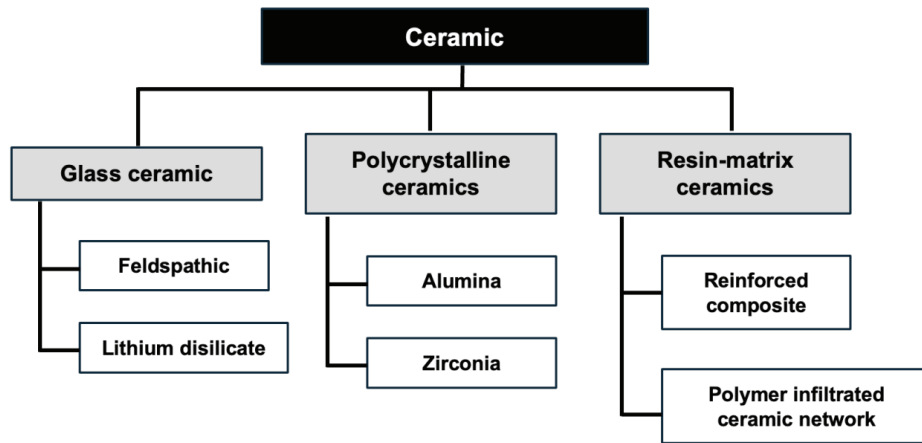


Fig. 3. Classification of materials used in esthetic indirect restorations.

요철과 다공성 구조가 형성되며, 이는 레진 시멘트가 침투할 수 있는 표면 형태를 제공한다. 임상적으로 장식계 세라믹은 리튬 디실리케이트 세라믹보다 더 긴 불산 처리 시간이 요구되는 경우가 많다. 예를 들어 장식계 세라믹은 약 60-120초, 리튬 디실리케이트 세라믹은 약 20초 정도의 불산 처리가 사용되는 경우가 많다. 과도한 불산 처리는 세라믹 표면을 지나치게 약화시키거나 표면 결함을 증가시킬 수 있으므로 피해야 한다⁸⁾.

불산 처리 후에는 세척 및 건조 과정을 거친 뒤 실란을 적용한다. 유리 세라믹은 실리카 성분을 포함하고 있으며, 불산 처리 후 노출된 실리카 성분 또는 표면 수산화기는 실란과 반응할 수 있다. 일반적으로 실란은 세라믹 표면에 도포한 뒤 약 60초 정도 반응 시간을 부여하고, 이후 약한 공기로 건조하여 용매와 수분을 제거한다. 이 과정에서 과도하게 두꺼운 실란층이 남지 않도록 얇고 균일한 층을 형성하는 것이 필요하다⁷⁾.

2. Polycrystalline ceramics: alumina

알루미나 (alumina)는 유리상을 거의 포함하지 않는 다결정 세라믹이다. 따라서 유리 세라믹과 달리 불산 처리로 표면에 충분한 미세기계적 결합 구조를 형성하기 어렵고, 실리카 기반 세라믹에서 사용되는 실란 처리만으로 안정적인 화학적 접착을 기대하기 어렵다.

알루미나의 표면처리는 주로 알루미나 입자를 이용한 air abrasion 또는 샌드블라스팅을 통해 이루어진다. 이 과정은 수복물 내면의 표면 거칠기를 증가시키고 레진 시멘트와의 접촉 면적을 넓히기 위한 목적으로 사용된다. 일반적으로는 50 μm 알루미나 입자를 약 1-2 bar의 압력으로, 약 10 mm 거리에서

10-15초 정도 적용하는 조건이 사용된다. 다만 입자 크기, 압력, 적용 시간, 분사 거리에 따라 표면 거칠기와 표면 손상 정도가 달라질 수 있으므로, 과도한 샌드블라스팅은 피해야 한다⁹⁾.

알루미나 표면은 산화물 세라믹의 특성을 가지므로, 인산계 기능성 모노머(phosphate functional monomer)를 포함하는 프라이머가 사용될 수 있다. 특히 10-MDP의 인산기는 알루미나 표면의 산화물층 또는 표면 수산화기와 상호작용할 수 있으며, 이 과정에서 Al-O-P 형태의 인산염 결합(phosphate linkage)이 형성될 수 있다¹⁰⁾.

3. Polycrystalline ceramics: zirconia

지르코니아(zirconia)는 유리상을 거의 포함하지 않는 다결정 세라믹으로, 불산 처리에 반응하지 않는다. 따라서 유리 세라믹과 달리 불산 처리나 실란 적용만으로는 충분한 접착을 기대하기 어렵다¹⁰⁾.

지르코니아 표면처리에는 일반적으로 알루미나 입자를 이용한 분사 처리, 즉 샌드블라스팅(sandblasting)이 사용된다. 이 과정은 표면 거칠기를 증가시켜 레진 시멘트와의 미세기계적 결합을 형성하기 위한 것이다. 임상적으로는 50 μm 알루미나 입자를 약 1-2 bar의 압력으로, 약 10 mm 거리에서 10-15초 정도 적용하는 조건이 흔히 사용된다. 다만 과도한 분사 처리는 표면 결함이나 미세균열을 유발할 수 있으므로 피해야 한다¹¹⁾.

지르코니아 접착에서는 10-MDP를 포함하는 지르코니아 프라이머(zirconia primer), 범용 접착제(universal adhesive), 또는 MDP 함유 레진 시멘트(MDP-containing resin cement)가 사용된다. 지르코니아는 실리카 기반 유리상을 포

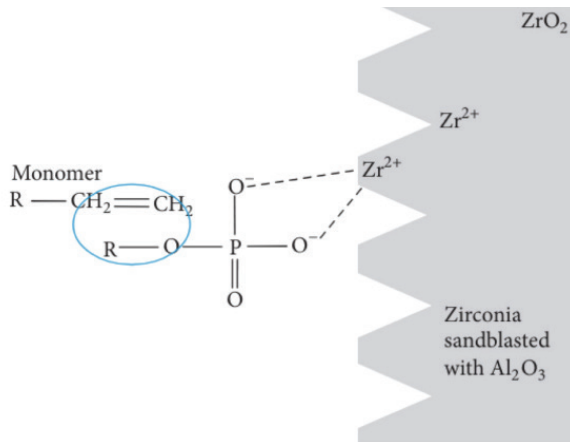


Fig. 4. Surface treatment of zirconia. Application of zirconia primer (10-MDP) on the zirconia surface with increased surface area following alumina sandblasting¹³⁾.

함하지 않지만, 표면에 산화지르코늄 구조와 수산화기를 가질 수 있다. 10-MDP의 인산기는 이러한 지르코니아 표면과 상호작용하여 Zr-O-P 형태의 결합을 형성할 수 있다¹²⁾(Fig. 4).

4. Resin-matrix ceramics

레진 매트릭스 세라믹(resin-matrix ceramics)은 세라믹 필러 또는 세라믹 네트워크와 레진 기질(resin matrix)이 함께 존재하는 CAD/CAM 수복 재료군이다¹⁴⁾. 이 재료군은 전통적인 유리 세라믹이나 지르코니아와 달리 무기 성분과 유기 레진 성분을 모두 포함하므로, 표면 처리 방법도 재료의 구성에 따라 달라진다. 레진 매트릭스 세라믹은 크게 Reinforced composite와 고분자 침투 세라믹 네트워크(polymer-infiltrated ceramic network, PICN)로 나누어 설명할 수 있다.

1) Reinforced composite

Reinforced composite는 레진 기질 안에 세라믹 또는 무기 필러가 고함량으로 포함된 재료이다. 대표적인 제품으로 Lava Ultimate(3M)와 MAZIC Duro(Vericom)가 있다. 이 재료군은 레진 성분의 비율이 상대적으로 높기 때문에, 유리 세라믹처럼 불산 처리와 실란 적용을 기본으로 하는 표면처리와는 차이가 있다. 일반적으로는 샌드블라스팅을 통해 수복물 내면의 표면 거칠기를 형성하고, 이후 레진 기질과 반응할 수 있는 접착제 또는 프라이머를 적용한다. 필러 성분이 노출되는 경우에는 실란 적용이 함께 고려될 수 있다¹⁵⁾.

2) Polymer-infiltrated ceramic network

고분자 침투 세라믹 네트워크(polymer-infiltrated ceramic network, PICN)는 다공성 세라믹 네트워크 안으로 고분자 레진이 침투된 이중 네트워크 구조를 가지는 재료이다. 대표적인 제품으로 Vita Enamic(VITA)과 Amber Mill H(Hass)가 있다. PICN은 세라믹 네트워크와 레진 네트워크가 함께 존재하므로, 표면 처리에서도 두 성분을 모두 고려해야 한다. 세라믹 네트워크에 대해서는 불산 처리를 통해 미세기계적 유지 형태를 형성하고 실란을 적용할 수 있으며, 레진 성분에 대해서는 접착제 적용이 고려될 수 있다. 따라서 PICN의 표면처리는 Reinforced composite보다 유리 세라믹의 표면처리와 더 유사한 면을 가진다¹⁶⁾.

레진 시멘트와 접착 시스템의 선택

레진 시멘트는 레진 기반의 합착 재료로, 일반적으로 dimethacrylate계 레진 매트릭스와 무기 필러를 포함한다. 레진 시멘트는 수복물과 치질 사이에서 미세기계적 결합 및 화학적 결합을 통해 유지에 기여하며, 세라믹, 지르코니아, 레진 매트릭스 세라믹, 섬유 포스트 등 다양한 간접수복물의 접착에 사용된다.

레진 시멘트는 술식에 따라 etch-and-rinse 또는 self-etch adhesive와 함께 사용하는 adhesive resin cement, 그리고 별도의 adhesive 적용 없이 사용하는 self-adhesive resin cement로 나눌 수 있다⁴⁾. Adhesive resin cement는 술식이 다소 복잡하지만, 법랑질과 상아질에 대한 접착력을 높일 수 있다. 특히 상아질 변연이 많고 수복물 유지가 접착에 크게 의존하는 경우에는 adhesive resin cement와 적절한 치면 처리가 중요하다.

Self-adhesive resin cement는 술식이 간단하고 수분 조절이 상대적으로 용이하다는 장점이 있다. 그러나 점도가 높고 상아질 내로의 침투가 제한될 수 있으며, hybrid layer 형성이 충분하지 않아 adhesive resin cement보다 접착 강도가 낮게 나타날 수 있다¹⁷⁾.

Universal adhesive는 self-etch, selective enamel etching, total-etch 등 다양한 방식으로 사용할 수 있고, 10-MDP와 같은 기능성 모노머를 포함하는 경우가 많다. 또한 법랑질, 상아질, 지르코니아, 금속, 세라믹, 기존 복합레진 등 다양한 기

질에 적용할 수 있어 임상적으로 활용도가 높다. 다만 universal adhesive가 모든 재료에서 동일하게 최적의 결과를 보장하는 것은 아니므로, 수복 재료와 시멘트 시스템의 조합을 고려해야 한다.

임상 실패를 줄이기 위한 고려사항

심미 간접수복물의 접착 실패는 한 가지 원인으로 발생하기 보다는 여러 단계의 작은 오류가 누적되어 나타나는 경우가 많다. 따라서 접착 과정은 최종 시멘트 접착 단계에만 국한되지 않으며, 수복물의 시적, 치면 격리, 수복물 내면 세척, 치면 처리, 시멘트 적용, 광중합, 잔여 시멘트 제거, 교합 조정까지 이어지는 일련의 과정으로 이해할 필요가 있다(Fig. 5).

수복물의 시적(try-in) 과정은 접착 전 필수적인 단계이지만, 동시에 수복물 내면 오염이 발생하기 쉬운 과정이다. 시적 단계에서는 내면 적합, 인접면 접촉, 변연 적합, 색조, 형태를 확인하게 되며, 이 과정에서 수복물 내면이 타액, 혈액, 실리콘 지시재, 시적용 페이스트(try-in paste) 등에 노출될 수 있다. 이러한 오염은 레진 시멘트의 젖음성(wettability)을 저하시키거나, 실란 또는 기능성 모노머와 수복물 표면 사이의 반응을 방해할 수 있다. 따라서 시적 후에는 수복 재료의 종류에 맞는 세척 과정이 필요하며, 필요한 경우 표면처리 또는 프라이머 적용

을 다시 시행해야 한다¹⁸⁾.

격리는 접착 술식 전반에서 중요한 임상 조건이다. 레진 기반 접착 시스템은 수분, 타액, 혈액에 민감하며, 특히 치은연하 변연이나 인접면 변연에서는 오염 관리가 어려울 수 있다. 가능하다면 리버댐을 이용하여 술야를 격리하고, 적용이 어려운 경우에도 코튼롤, 흡입기, 치은압배사, 테플론 테이프 등을 이용하여 오염을 줄여야 한다. 격리가 불충분한 경우 치면 처리와 수복물 내면 처리가 적절히 이루어지더라도 접착 계면의 안정성이 저하될 수 있다¹⁹⁾.

치면 측면에서는 법랑질과 상아질의 접착 특성을 구분해야 한다. 법랑질은 인산 처리 후 미세 요철이 형성되고 레진 침투가 비교적 안정적으로 이루어지는 반면, 상아질은 수분과 유기질 성분을 포함하고 있어 술식 민감도가 높다. 상아질에서는 과도한 건조, 불충분한 프라이머 침투, 콜라겐 붕괴(collagen collapse), 잔류 용매 등이 접착에 영향을 줄 수 있다. 따라서 노출된 상아질이 많은 간접수복 증례에서는 즉시 상아질 봉쇄(immediate dentin sealing, IDS)를 고려할 수 있다²⁰⁾. IDS는 치아 삭제 직후 신선한 상아질에 접착제를 적용하고 광중합하여 상아질을 미리 봉쇄하는 술식이다. 이는 최종 접착 전까지 상아질 오염을 줄이고, 술후 민감도 감소와 접착 강도 향상에 기여할 수 있다. 특히 인상 채득, 스캔, 임시수복물 장착이 필요한 간접수복 과정에서는 노출된 상아질을 조기에 처리한다는 점에서 임상적 의미가 있다.

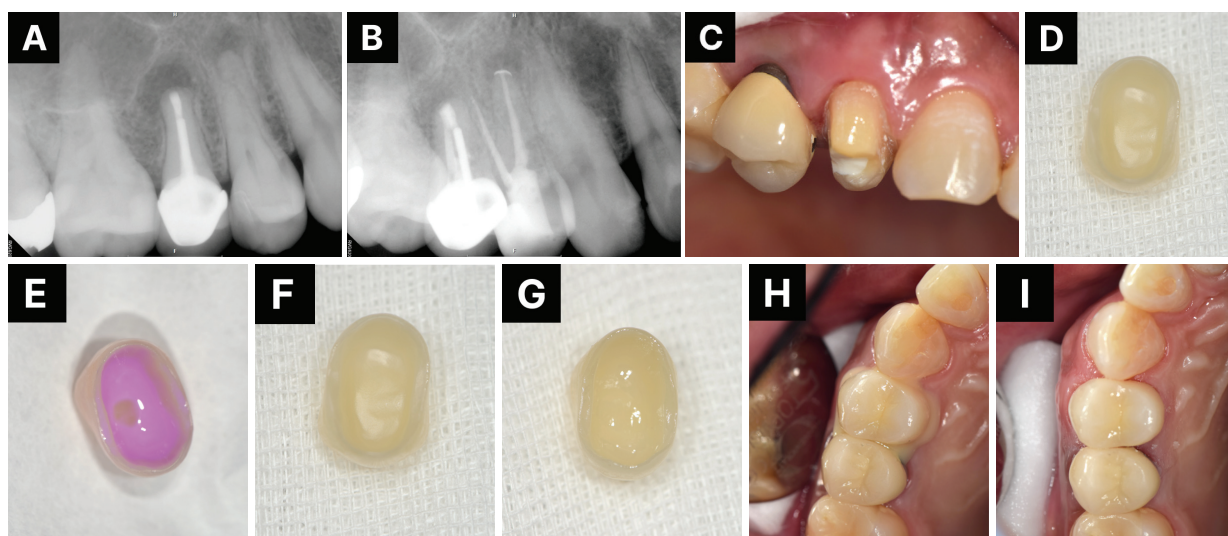


Fig. 5. Clinical cementation procedure for a zirconia crown. A. Preoperative radiograph. B. radiograph after root canal treatment. C. prepared tooth with application of universal adhesive. D. internal surface of the zirconia crown. E. cleaning of the internal surface after try-in. F. internal surface after sandblasting, cleaning, and drying. G. internal surface after application of zirconia primer. H. final cementation with resin cement. I. final result after removal of excess cement.

심미 간접수복물의 재료가 다양해질수록 하나의 접착 프로토콜을 모든 증례에 적용하기는 어렵다. 유리 세라믹, 알루미늄, 지르코니아, 레진 매트릭스 세라믹은 표면 구조와 화학적 특성이 다르므로, 수복 재료에 따라 표면처리와 프라이머 선택이 달라져야 한다. 동일한 레진 시멘트를 사용하더라도 수복물 내면의 전처리, 기능성 모노머 또는 실란의 적용 여부, 오염 제거 방법에 따라 접착 계면의 형성 양상이 달라질 수 있다.

시멘트 적용 이후에는 수복물의 정확한 위치 안착과 잔여 시멘트 제거가 중요하다. 과도한 시멘트는택 큐어링(tack curing) 또는 겔 상태(gel phase)에서 제거할 수 있으며, 인접면과 치은연하 변연에 잔여 시멘트가 남지 않도록 확인해야 한다. 잔여 시멘트는 치은 염증, 변연부 착색, 인접면 치실 통과 장애의 원인이 될 수 있다.

심미 간접수복물의 접착은 수복물 표면 처리, 치면 처리, 레진 시멘트 적용, 중합, 교합 조정이 연속적으로 연결되는 과정으로 볼 수 있다. 이 과정에서 수복물 표면, 치질, 레진 시멘트 각각의 계면을 구분하여 관리하는 접근이 필요하다.

결론

심미 간접수복물의 접착은 수복 재료, 레진 시멘트, 치질 표면이 만나는 여러 계면에서 이루어진다. 간접수복에 사용되는 심미 재료는 서로 다른 표면 구조와 화학적 특성을 가지므로, 동일한 접착 술식을 모든 재료에 일괄적으로 적용하기는 어렵다.

접착 과정에서는 수복물 내면의 표면처리와 오염 관리뿐 아니라 치면 격리, 법랑질과 상아질의 처리, 레진 시멘트의 선택, 중합 조건, 잔여 시멘트 제거가 함께 고려되어야 한다. 이러한 단계들은 서로 독립된 과정이 아니라 최종 접착 계면의 형성으로 이어지는 연속적인 술식 과정이다.

따라서 심미 간접수복물의 접착에서는 재료별 표면 특성과 임상 술식 조건을 함께 고려하는 접근이 필요하다. 이를 통해 접착 실패를 줄이고 보다 예측 가능한 임상 결과를 얻을 수 있다.

Conflicts of Interest: None

References

1. Murdoch-Kinch CA, McLean ME. Minimally invasive dentistry. *J Am Dent Assoc* 2003; 134: 87-95.
2. van den Breemer CR, Gresnigt MM, Cune MS. Cementation of glass-ceramic posterior restorations: a systematic review. *Biomed Res Int* 2015; 2015: 148954.
3. Wongsue S, Thanatvarakorn O, Prasansuttiporn T, Nimmanpipug P, Sastraruji T, Hosaka K, et al. Effect of surface topography and wettability on shear bond strength of Y-TZP ceramic. *Sci Rep* 2023; 13: 18249.
4. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. a status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *J Adhes Dent* 2020; 22: 7-34.
5. Tekçe N, Tuncer S, Demirci M. The effect of sandblasting duration on the bond durability of dual-cure adhesive cement to CAD/CAM resin restoratives. *J Adv Prosthodont* 2018; 10: 211-217.
6. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R, Nakayama Y, Okazaki M, Shintani H, et al. Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res* 2004; 83: 454-458.
7. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JK. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: a review. *Dent Mater* 2018; 34: 13-28.
8. Araújo-Neto VG, Nobre CF, Freitas MI, Lima RB, Sinhoreti MA, Del Bel Cury AA, et al. Effect of hydrofluoric acid concentration on bond strength to glass-ceramics: a systematic review and meta-analysis of in-vitro studies. *J Adhes Dent* 2023; 25: 231-240.
9. Papia E, Larsson C, du Toit M, Vult von Steyern P. Bonding between oxide ceramics and adhesive cement systems: a systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 2014; 102: 395-413.
10. Kern M. Bonding to oxide ceramics-laboratory testing versus clinical outcome. *Dent Mater* 2015; 31: 8-14.
11. Chintapalli RK, Mestra Rodriguez A, Garcia Marro F, Anglada M. Effect of sandblasting and residual stress on strength

- of zirconia for restorative dentistry applications. *J Mech Behav Biomed Mater* 2014; 29: 126-137.
12. Nagaoka N, Yoshihara K, Feitosa VP, Tamada Y, Irie M, Yoshida Y, et al. Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Sci Rep* 2017; 7: 45563.
 13. Kim J, Park C, Lee JS, Ahn J, Lee Y. The effect of various types of mechanical and chemical preconditioning on the shear bond strength of orthodontic brackets on zirconia restorations. *Scanning* 2017; 2017: 6243179.
 14. Skorulska A, Piszko P, Rybak Z, Szymonowicz M, Dobrzyński M. Review on polymer, ceramic and composite materials for CAD/CAM indirect restorations in dentistry-application, mechanical characteristics and comparison. *Materials (Basel)* 2021; 14: 1592.
 15. Fathy H, Hamama HH, El-Wasefy N, Mahmoud SH. Effect of different surface treatments on resin-matrix CAD/CAM ceramics bonding to dentin: in vitro study. *BMC Oral Health* 2022; 22: 635.
 16. Conejo J, Ozer F, Mante F, Atria PJ, Blatz MB. Effect of surface treatment and cleaning on the bond strength to polymer-infiltrated ceramic network CAD-CAM material. *J Prosthet Dent* 2021; 126: 698-702.
 17. Miotti LL, Follak AC, Montagner AF, Pozzobon RT, da Silva BL, Susin AH. Is conventional resin cement adhesive performance to dentin better than self-adhesive? a systematic review and meta-analysis of laboratory studies. *Oper Dent* 2020; 45: 484-495.
 18. Pilecco RO, Machry RV, Ribeiro VF, Moraes RR, Pereira GKR. Evaluation paste removal method and bond strength between resin cement and lithium disilicate ceramic: an in vitro study. *J Prosthet Dent* 2025; 133: 1040-1046.
 19. Falacho RI, Melo EA, Marques JA, Ramos JC, Guerra F, Blatz MB. Clinical in-situ evaluation of the effect of rubber dam isolation on bond strength to enamel. *J Esthet Restor Dent* 2023; 35: 48-55.
 20. Magne P. Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *J Esthet Restor Dent* 2005; 17: 144-154.