Review Article

대한치과재료학회지 53(3) : 163-172, 2026
Korean Journal of Dental Materials (*Korean J Dent Mater*)
ISSN:2384-4434 (Print); 2384-3268 (Online)
Available online at http://www.kadm.org
http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2026.53.3.163

리튬 디실리케이트 수복재료의 특성 및 AI 기반 향후 전망

신재우*

전북대학교 부설 생체흡수성소재연구소

Characteristics of Lithium Disilicate Restorative Materials and Future Prospects Based on Artificial Intelligence

Jae-Woo Shin*

Institute of Biodegradable Materials, School of Dentistry, Jeonbuk National University, Jeonju, Republic of Korea

Lithium disilicate is a widely used glass-ceramic restorative material that combines favorable esthetics, adhesive potential, and relatively high mechanical strength. Its ability to reproduce tooth-like shade and translucency has supported its widespread use in anterior crowns, laminate veneers, inlays, onlays, and single-unit restorations. Nevertheless, as a brittle glass-ceramic, lithium disilicate remains susceptible to fracture initiated by surface and subsurface defects, abrupt geometric transitions, cyclic occlusal loading, humid conditions, and degradation of the adhesive interface. Accordingly, the long-term clinical success of lithium disilicate restorations depends not only on initial flexural strength but also on the integrated effects of microstructure, fracture toughness, slow crack growth, adhesive stability, restoration design, machining-induced damage, surface finishing, and the occlusal environment.

This review examines the material and optical properties of lithium disilicate; its fracture behavior and susceptibility to slow crack growth; bonding mechanisms; machining damage associated with CAD/CAM manufacturing; and the potential role of artificial intelligence (AI)-enabled workflows. In the future, AI should extend beyond the automation of restoration fabrication and serve as a clinical and laboratory decision-support system that facilitates case-specific material selection, verification of adequate minimum thickness, mitigation of stress concentration, reduction of machining defects, assessment of bonding-related risks, and prediction of occlusal fatigue risk. Such data-driven approaches may improve the long-term clinical performance and survival of lithium disilicate restorations.

Keywords : Lithium disilicate, Glass-ceramic, Slow crack growth, Adhesion, Artificial intelligence

*Correspondence: Jae-Woo Shin (ORCID: 0000-0003-0834-4265)
567, Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju 54907, Republic of Korea
Affiliation: School of Dentistry and Institute of Oral Bio-Science, Jeonbuk National University, Republic of Korea
Tel: +82-63-250-2117, Fax: +82-50-4073-6064
Email: jwsin223@naver.com

Received: Sep. 08, 2026; Revised: Sep. 22, 2026; Accepted: Sep. 22, 2026

서 론

현대 치과 보철치료의 목표는 결손 치아의 형태와 기능을 회복하는 것에 그치지 않고, 심미성, 생체친화성 및 장기적 안정성을 함께 확보하는 데 있다 (1, 2). 특히 환자의 심미적 요구가 증가하며 자연치의 색조, 반투명성 및 표면 질감을 재현하는 것이 가능한 세라믹 수복재료의 중요성이 더욱 커지고 있다 (1-3). 이러한 임상적 요구 속에서 리튬 디실리케이트는 심미성, 접착성 및 기계적 강도의 균형을 갖춘 글라스-세라믹 재료로서 널리 사용되고 있다 (3-6).

리튬 디실리케이트는 열가압성형용 잉곳과 CAD/CAM용 블록 형태로 제공되며, 디지털 보철 워크플로우와의 호환성이 높다 (5, 6, 19). 또한 규산염계 세라믹이어서 불산 처리와 실란 처리를 이용한 레진 접착이 가능하므로, 보존적인 삭제를 기반으로 하는 접착 수복에 특히 유리하다 (7, 9, 10). 이러한 특성으로 인해 리튬 디실리케이트는 전치부 심미 수복뿐 아니라 인레이, 온레이 및 일부의 구치부 단일 수복에도 그의 적용 범위가 확대되고 있다 (4-6, 10).

그러나 리튬 디실리케이트는 금속과 달리 소성변형을 통한 응력 완화가 거의 일어나지 않는 취성 재료이다. 따라서 표면의 미세 결함, 내부 기공, 밀링 과정에서 발생한 미세균열, 과도하게 얇은 부위 및 급격한 내면 형상의 변화는 파절의 기시점이 될 수 있다 (11-13). 또한 구강 내에서는 반복적인 교합 하중, 수분, 온도 변화, 접착 계면의 열화 및 환자별 기능 습관이 동시에 작용하므로, 임상적 예후를 초기 강도만으로 예측하기는 어렵다 (13-18).

최근 디지털 기술과 인공지능이 수복물의 형태 생성뿐만 아니라 삭제 형상의 평가, 최소 두께의 검증, 응력 집중의 예측, 가공 경로의 최적화, 접착 프로토콜의 추천 및 교합 위험의 관리 등에 적용되고 있다. 이에 본 리뷰에서는 리튬 디실리케이트의 재료학적 특성 및 임상적 의의, 광학적 특성, 파절 거동과 저속균열성장, 접착 기전, CAD/CAM과 인공지능 기반 워크플로우의 향후 발전 방향을 중심으로 살펴보고자 한다.

결과 및 고찰

1. 리튬 디실리케이트의 재료학적 특성과 임상적 의의

리튬 디실리케이트는 글라스 기질 내에 리튬 디실리케이트 결정상이 분포하는 글라스-세라믹 재료이다. 재료 내부의 상호 얽힌 침상의 결정 구조는 균열의 전파를 방해하므로 전통적인 장석계 포세린보다 높은 굴곡강도(Table 1)와 향상된 파절저항성을 나타낸다 (7, 8, 19).

초기의 리튬 디실리케이트는 심미성에 비해 강도가 상대적으로 낮은 재료로 인식되기도 하였으나 (7), 이후 결정상의 제어 및 미세구조의 최적화를 통하여 기계적 성질이 향상되었다 (8). 리튬 디실리케이트의 임상적 가치는 단순히 높은 강도에 있지 않다. 본 재료는 자연치와 유사한 광학적 특성을 제공하면서도, 적절한 표면 처리 후 레진 시멘트와 접착이 가능하다는 점에서 기계적 유지에 주로 의존하는 수복재료들과 구별된다

Table 1. Fully sintered CAD/CAM glass-ceramic blocks

Product name	Type	Flexural strength (MPa)	Manufacturer
IPS Empress CAD	Leucite	140 (19)	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
IPS e.max CAD	Lithium metasilicate	381.0 (20)	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein
Amber Mill	Nano lithium disilicate	450 (21)	Hass, Gangneung, Korea
GC LiSi Block	Lithium disilicate	351 (22)	GC, Tokyo, Japan
Celtra Duo	Zirconia-contained lithium disilicate	451.4 (23)	DeguDent GmbH, Hanau-Wolfgang, Germany

(7, 9, 22). 접착은 수복물의 유지뿐 아니라 수복물과 치질의 응력 전달을 보다 안정적으로 만들 수 있으므로, 보존적 수복의 적용 가능성을 넓힌다.

리튬 디실리케이트의 임상적 적용은 증례별 위험 요인을 고려하여 이루어져야 한다. 수복물의 두께가 불충분하거나, 내면 각이 날카롭거나, 지대치에 의한 지지가 부족하거나, 교합 하중이 과도한 경우에는 높은 초기 강도에도 불구하고 파절 위험이 증가할 수 있다 (11, 14, 18). 리튬 디실리케이트는 심미성과 강도를 동시에 제공하는 재료이지만, 적절한 증례 선택, 정밀한 삭제와 설계, 안정적인 접착 및 교합 관리가 전제될 때 장기적 성공을 기대할 수 있는 재료로 이해되어야 한다.

2. 광학적 특성과 심미 수복에서의 의의

리튬 디실리케이트의 주요 장점은 높은 투광성과 반투명성을 바탕으로 자연치 법랑질과 유사한 수준의 깊이감 및 생동감을 재현할 수 있다는 점이다. 이러한 광학적 특성은 특히 전치부 비니어와 전치부 크라운에서 자연스러운 색조의 재현에 유리하게 작용한다 (4, 6, 10). Harada 등 (6)은 단일구조 세라믹 재료의 투명도를 비교한 연구에서, 리튬 디실리케이트가 여러 다른 재료군에 비해 높은 투명도를 나타냄을 보고하였다. 그러나 높은 투광성은 임상적 상황에 따라 장점으로만 작용하지는 않는다. 변색된 지대치, 금속성 수복물, 어두운 코어 축조재 또는 강한 색조의 하방 구조가 존재할 경우, 하부의 색조는 최종 수복물의 명도와 채도에 영향을 줄 수 있다 (26-28). 따라서 변색 지대치 수복에서는 리튬 디실리케이트의 투명도 등급, 수복물 두께, 지대치 색조, 내면 차단 방식 및 레진 시멘트 색조 등을 종합적으로 고려해야 하며, 경우에 따라서 투광성을 부분적으로 조절하는 임상적 전략이 요구된다 (28-30).

레진 시멘트의 색조 효과는 수복물의 두께와 투명도에 따라 달라질 수 있다. 얇고 투명도가 높은 수복물에서는 배경 색조와 시멘트의 영향이 상대적으로 커질 수 있으나, 충분한 두께를 갖는 불투명도가 높은 수복물에서는 그 영향이 제한적일 수 있다 (28-31).

3. 파절 거동과 기계적 한계

리튬 디실리케이트는 장석계 포세린보다 높은 강도와 파절저항성을 나타내지만, 취성 재료의 특성상 결함에 민감하다 (11-13). 금속 재료는 소성변형을 통해 일부의 응력을 분산하거나 완화하는 반면, 세라믹 재료는 취성으로 인해 소성변형을 통해 응력을 흡수하거나 완화할 수 없으므로 표면 스크래치, 가공 손상, 변연부의 미세 결함, 기공 및 국소적 두께 감소는 균열 개시의 원인이 될 수 있다 (12, 13, 18).

임상적으로 관찰되는 파절 양상은 수복 형태와 하중 조건에 따라 다르게 나타난다. 전치부에서는 얇은 절단연, 과도한 수직 피개, 비축성 측방 하중 및 비정상적인 전방 유도가 파절 위험을 높일 수 있다. 구치부에서는 기능교두, 중심와 인접부 및 얇은 교두 부위에 하중이 집중될 때 bulk fracture 또는 부분적 chip fracture가 발생할 수 있다 (11, 14, 15, 18). 또한 접착 계면이 약화되면 수복물과 지대치 사이의 지지 관계가 변하고, 이로 인해 내면에서 방사형 균열(radial crack)이 시작되거나 2차 파절로 이어질 수 있다 (14, 15, 18).

세라믹과 같은 취성 재료의 신뢰성을 평가할 때는 평균 굴곡강도뿐 아니라 강도의 분포와 결함 민감성을 함께 고려해야 한다. Weibull 통계는 가장 취약한 결함이 재료 전체 파절을 지배할 수 있는 세라믹 재료의 특성을 평가하는 경우에 유용하다 (13, 18). 또한 파괴인성은 균열이 존재하는 상태에서 불안정 파괴에 저항하는 능력을 나타내는 핵심 지표이므로, 실제 임상적 신뢰성과 관련된 중요한 지표이다 (16, 17). 결국 리튬 디실리케이트 수복의 기계적 안정성은 재료 고유의 물성뿐만 아니라 결함의 크기와 위치, 수복물의 형상, 지대치에 의한 지지 및 교합 하중을 종합적으로 고려하여 평가되어야 한다.

4. 저속균열성장과 습윤 환경에서의 내구성

세라믹 수복물의 장기적 실패는 과도한 하중에 의해서만 발생하지 않는다. 구강과 같은 습윤 환경에서 인장응력이 지속적으로 작용하면 균열 선단에서 응력부식이 일어나 미세균열이 점진적으로 성장할 수 있다 (13, 14, 43). 이러한 현상은 저속균열성장(slow crack growth) 또는 정적 피로(static fatigue)로 설명되며, 세라믹 수복물의 장기 내구성을 이해하는 핵심 기전이다 (16-19, 43). 초기에는 임상적으로 문제가 없어 보이는 작은 표면 결함에 불과하더라도, 수분과 인장응력이 동시에

존재하는 환경에서는 균열 선단에서 화학적 결합의 약화가 일어나 시간이 경과하며 점진적인 균열 성장이 일어나고 그의 크기가 한계에 도달하면 급격한 불안정 파괴가 일어날 수 있다.

세라믹 수복물에서는 제작, 조정, 마무리 연마의 과정에서 미세 결함이 생성되기 쉬우므로 임상적으로 파절은 이러한 응력 집중부에서 발생할 가능성이 높다 (14, 18). 따라서 장기적 내구성을 확보하기 위해서는 수복물의 최소 두께를 충분히 확보하고, 내면의 날카로운 각을 제거하며, 변연부를 매끄럽게 형성해야 한다. 이러한 요소들은 모두 균열 개시의 가능성을 낮출 뿐만 아니라 저속균열성장에 의한 장기적 열화를 지연시키는 방향으로 작용한다.

5. 접착 메커니즘과 구조적 보강 효과

리튬 디실리케이트의 중요한 임상적 장점은 안정적인 레진 접착이 가능하다는 점이다. 불산 처리와 실란 처리를 통해 형성되는 세라믹-레진 계면은 단순한 유지력 확보를 넘어서, 수복물과 지대치의 구조적 일체화를 도울 수 있다 (7, 9, 22).

수복물 접착부를 불산으로 처리하면 리튬 디실리케이트 표면에서는 글라스 기질과 결정상의 선택적 용해가 일어나 표면에 미세한 요철이 형성된다 (7, 9). 이러한 미세한 요철면은 레진 시멘트와 기계적 맞물림을 가능하게 하고, 이후 실란을 적용하고 가볍게 건조하면 세라믹 표면의 수산기와 반응하여 실록산 결합이 형성된다. 동시에 실란의 유기기 말단은 레진과의 중합 반응에 참여하게 되므로, 결과적으로 리튬 디실리케이트-실란-레진 계면에서는 기계적 결합과 화학적 결합이 동시에 형성된다 (9, 22).

적절한 접착은 수복물의 변연 안정성과 파절저항성의 향상에 직접적으로 영향을 미친다. 규산염 세라믹 수복물은 단순 가착 상태에서는 변연부나 내면 결함부에서 균열이 비교적 쉽게 개시되고 전파될 수 있다. 그러나 적절한 접착이 이루어지면, 레진 시멘트는 수복물 내면과 치질 사이의 미세한 불균일성을 보완하고, 하중 전달을 보다 균일하게 하여 국소적인 응력집중을 완화하는 데 기여할 수 있다 (10, 14). 그렇지만, 오염, 불충분한 표면 처리, 부적절한 중합 또는 접착면 부족은 접착 계면의 열화와 debonding 가능성을 높일 수 있다. 따라서 접착은 단순한 부착의 절차가 아니라, 구조적인 결함을 보완하고 장기적인 구조 안정성을 높이는 핵심 임상 전략으로 이해되어야 한다.

6. CAD/CAM 기반 디지털 워크플로우와 가공 손상

리튬 디실리케이트는 CAD/CAM 기반 디지털 보철 워크플로우와 높은 적합성을 보이는 재료의 하나이다. 일반적으로 pre-crystallized 상태의 블록을 밀링한 뒤 결정화 소성을 거쳐 최종 물성과 색조를 얻는 방식이 적용되고 있다 (2, 5, 6). 이 과정은 제작의 재현성과 효율성을 높이고, 수복물의 설계 및 제작 조건을 표준화하는 데 보다 유리하다.

CAD/CAM 제작은 설계의 정확성만으로 성공이 보장되는 과정이 아니다. 밀링 과정에서는 milling mark, edge chipping, subsurface microcrack 및 국소적 표면 거칠기 증가와 같은 가공 손상이 발생할 수 있다. 이러한 결함은 육안으로 명확히 관찰되지 않더라도 저작과정에서 작용하는 반복 하중 하에서 균열의 기시점으로 작용할 수 있다(14, 18, 41). 특히 얇은 비니어, 절단연, 변연부 및 교두부와 같이 두께가 제한된 부위에서는 작은 가공 손상도 임상적 실패와 연결될 수 있다. CAM 단계에서는 bur의 마모 상태, 절삭 경로, 공구 직경, 가공 속도, 냉각 조건 및 블록 배향을 관리할 필요가 있다. 또한 결정화 소성 이후의 polishing, staining 및 glazing은 심미성만을 위한 과정이 아니라 표면 결함과 거칠기를 감소시키고 응력집중을 완화하는 과정으로 이해되어야 한다 (14, 18). 특히 임상 장착 후 교합 조정을 시행한 경우에는 조정 부위를 충분히 연마하여 새로운 표면 결함이 남지 않도록 해야 한다.

7. 인공지능 기반 워크플로우와 리튬 디실리케이트 수복의 미래

인공지능 기반 워크플로우의 가치는 단순이 수복물 제작을 자동화하는 데에만 있지 않다. 리튬 디실리케이트와 같이 두께, 형상, 결함 및 교합 하중에 민감한 재료에서는 임상·기공 과정의 위험 요인을 정량적으로 평가하고, 설계와 제작 단계에서 이를 사전에 줄이는 역할이 더욱 중요하다 (35, 36).

인공지능 기반 워크플로우는 다음과 같은 단계로 나누어서 생각해 볼 수 있다.

첫째, 스캔 및 진단 단계에서 인공지능은 디지털 인상 데이터의 완전성 평가, 크라운 변연선의 검출, 치아 삭제 형태 및 삭제량의 평가, 언더컷과 삽입로의 분석, 인접면 공간 및 교합 관계의 검토를 지원하는 데 활용될 수 있다. 이러한 초기 단계의 오류 또는 부적절한 조건은 이후 설계 과정에서 국소적 재료

박화, 최소 재료 두께의 부족, 비정상적인 삽입로 및 접착면적의 불균형으로 이어질 수 있다. 따라서 스캔 및 삭제 형태의 조기 검증은 세라믹 수복물의 파절 위험을 관리하기 위한 중요한 출발점이 될 수 있다 (32, 34).

둘째, CAD 설계 단계에서 인공지능은 삭제 공간, 잔존 치질의 분포, 대합치와의 공간적 관계, 교합 접촉, 절단연 길이 및 교두 경사 등을 통합적으로 분석하여 최소 재료 두께와 응력 분산을 고려한 수복물 형태의 설계를 지원할 수 있다. 세라믹 수복물에서 급격한 두께 변화, 날카로운 내면각, 불충분한 절단연 또는 교합면 두께, 그리고 과도한 교합 접촉은 응력집중 및 피로 파절 위험 증가와 관련될 수 있다. 따라서 인공지능은 이러한 기하학적 · 교합적 위험 요소를 정량적으로 시각화하고, 설계 수정안을 제시하는 CAD 기반 의사결정 지원 도구로 활용될 가능성이 있다 (33, 34).

셋째, CAM 단계에서 인공지능은 장비별 가공 정확도, 공구의 사용 이력 및 마모 상태, 세라믹 블록의 재료 특성, 수복물의 기하학적 형태 및 축적된 제작 오류 데이터를 통합적으로 분석하여 절삭 경로와 공구 접근 방향의 최적화를 지원할 수 있다. 이러한 접근은 단순한 밀링 시간의 단축을 넘어, 취성 글라스-세라믹의 가공 과정에서 발생할 수 있는 edge chipping, 표면 거칠기 증가, 표면하 미세균열 및 기타 가공 유발 결함의 가능성을 줄이기 위한 공정 품질관리 전략으로서 의미를 갖는다. 가공 유발 결함은 이후 습윤 환경과 반복 교합하중 하에서 균열 개시 및 피로 파절의 기점으로 작용할 수 있으므로, CAM 단계에서의 결함 최소화는 리튬 디실리케이트 수복물의 장기적 신뢰성 확보에 중요하다 (35, 36, 41, 42).

넷째, 접착 및 장기 예후 관리 단계에서 인공지능 기반 모델은 수복물의 종류와 위치, 접착면적, 변연 위치, 지대치의 상태, 환자의 구강 환경 및 과거 수복 실패 이력을 통합적으로 분석하여 debonding 또는 파절 위험이 높은 증례의 선별을 지원할 수 있다. 또한 교합 접촉 양상, 이갈이 또는 교합 과부하의 임상적 지표, 편측 저작, 수직피개, 대합치 상태 및 수복 위치를 함께 고려함으로써, 국소적 과부하 및 파절 위험이 높은 부위를 예측하고 교합 조정 또는 형태 수정의 필요성을 제안하는 데 활용될 가능성이 있다. 그러나 이러한 시스템의 임상적 유용성은 단순히 데이터의 양에 의해 보장되지 않는다. 재료의 조성 및 강도 등급, 블록의 투명도, 수복물의 실제 두께와 형상, 삭제 및 접착 프로토콜, CAD/CAM 가공 조건, 교합 환경, 그리고 표준화된 실패 결과—예를 들어 파절의 위치 및 양상, debonding, 변연 적합 실패, 이차우식 및 재수복의 원인—를 연계한 고품질의 장기 추적 데이터가 필요하다. 향후에는 실제 임상 실패 사례를 체계적으로 축적하고 이를 설계 · 제작 · 접착 및 교합 관리 단계에 피드백하는 학습 기반 체계가 구축되어야 한다. 이러한 접근은 증례별 위험을 사전에 층화하고 리튬

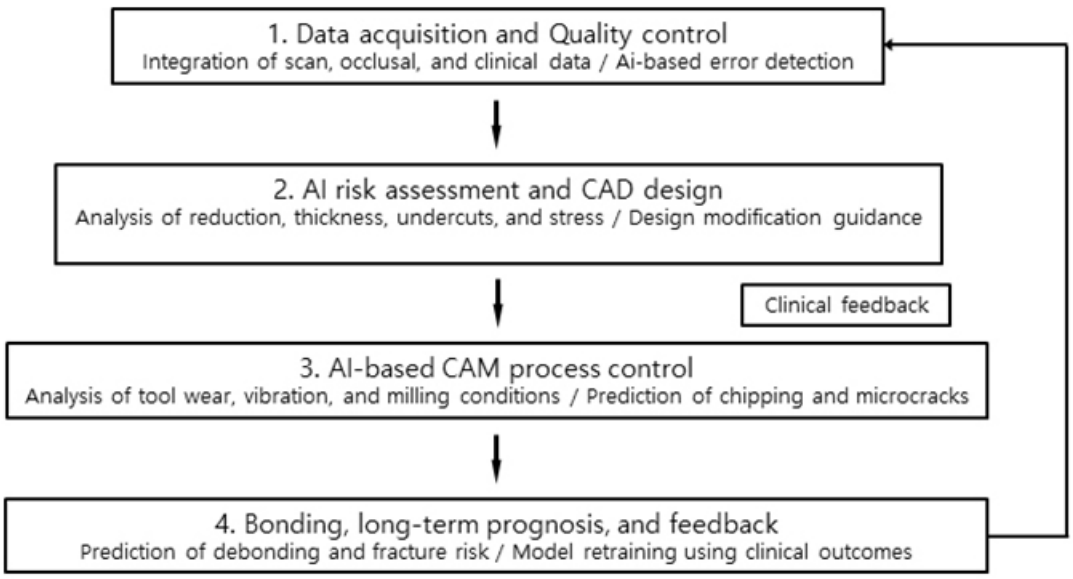


Figure 1. AI-based digital workflow for predictable and durable lithium disilicate restorations.

디실리케이트 수복물의 장기 임상 성과를 향상시키는 데 기여할 수 있다 (44, 45).

결 론

리튬 디실리케이트는 심미성, 접착성 및 비교적 우수한 기계적 성질을 갖춘 대표적인 글라스-세라믹 수복재료이다. 그러나 임상적 성공은 재료의 초기 굴곡강도만으로 결정되지는 않는다. 재료의 미세구조와 파괴인성, 표면 및 내부의 결함, 수복물의 두께와 형상, 저속균열성장, 접착 계면의 안정성, CAD/CAM 가공 손상, 표면 마무리 및 교합 환경이 상호작용하여 장기적 예후를 결정한다.

리튬 디실리케이트 수복에서는 균열이 일단 개시된 후 습윤 환경과 반복 하중 하에서 성장할 수 있으므로, 균열의 발생 자체를 줄이는 접근이 중요하다. 이를 위해서는 적절한 증례의 선택, 충분한 재료 두께의 확보, 응력집중을 줄이는 형상 설계, 안정적인 레진 접착, 정밀한 가공 및 조정 후의 표면 연마가 통합적으로 이루어져야 한다.

향후 인공지능은 리튬 디실리케이트 수복을 위한 단순한 자동화된 형태 생성의 도구 수준을 넘어서, 증례별 파절의 위험을 예측하고 설계 · 가공 · 접착 · 교합 관리의 의사결정을 지원하는 시스템으로 발전할 필요가 있다. 이를 위해서는 실제 임상 실패의 양상과 재료 · 설계 · 제작 · 접착의 조건을 연결한 장기 추적 데이터의 축적이 필수적이다.

궁극적으로 리튬 디실리케이트 수복의 발전은 재료의 강도 향상만이 아니라, 취성 재료의 결함 민감성과 파절 거동을 정량적으로 관리하는 정밀 임상 · 기공 체계의 확립에 달려 있다고 할 수 있다.

사 사

본 연구는 ㈜하스의 지원에 의하여 진행되었음.

참고문헌

1. Denry I. Recent advances in ceramics for dentistry. Crit Rev Oral Biol Med. 1996;7(2):134-143.
2. Giordano R. Materials for chairside CAD/CAM-produced restorations. J Am Dent Assoc. 2006;137(Suppl):14S-21S.
3. Bae TS. Dental application of glass-ceramic materials for aesthetic restoration. J Korean Dent Assoc. 2020;58(7):435-442.
4. Harianawala HH, Kheur MG, Apte SK, Kale BB, Sethi TS, Kheur SM. Comparative analysis of transmittance for different types of commercially available zirconia and lithium disilicate materials. J Adv Prosthodont. 2014;6(6):456-461.
5. Su Y, Xin M, Chen X, Xing W. Effect of CAD-CAM ceramic materials on the color match of veneer restorations. J Prosthet Dent. 2021;126(2):255.e1-255.e7.
6. Harada K, Raigrodski AJ, Chung KH, Flinn BD, Dogan S, Mand LA. A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. J Prosthet Dent. 2016;116(2):257-263.
7. Borom MP, Turkalo AM, Doremus RH. Strength and microstructure in lithium disilicate glass-ceramics. J Am Ceram Soc. 1975;58(9-10):385-391.
8. Huang S, Li Y, Wei S, Huang Z, Gao W, Cao P. A novel high-strength lithium disilicate glass-ceramic featuring a highly intertwined microstructure. J Eur Ceram Soc. 2017;37(3):1083-1094.
9. Myers ML, Caughman WF, Rueggeberg FA. Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement. J Prosthodont. 1994;3(3):149-157.
10. Kim JH, Byeon SM, Bae TS, Jang YS, Lee MH, Ahn SG. Impact of liner treatment on the translucency of CAD/CAM multi-colored lithium disilicate and multi-layered zirconia implant-supported crowns, and evaluation of fracture strength of ceramic crowns. Odontology. 2025;113(3):645-654.
11. Marshall DB. An improved biaxial flexure test for

ceramics. Am Ceram Soc Bull. 1980;59(5):551-553.
12. Shetty DK, Rosenfield AR, Duckworth WH, Held PR. A biaxial flexure test for evaluating ceramic strength. J Am Ceram Soc. 1983;66(1):36-42.
13. Ban S, Anusavice KJ. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. J Dent Res. 1990;69(12):1791-1799.
14. Smyth KK, Magida MB. Dynamic fatigue of a machinable glass-ceramic. J Am Ceram Soc. 1983;66(7):500-505.
15. Kim HS, Choi KH, Chung HW, Won DH, Lee MH, Bae TS. Microstructural aspects of crack propagation in all-ceramic materials. J KOSOMBE. 1988;9(4):433-440.
16. Evans AG, Charles EA. Fracture toughness determinations by indentation. J Am Ceram Soc. 1976;59(7-8):371-372.
17. Anstis GR, Chantikul P, Lawn BR, Marshall DB. A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I. Direct crack measurements. J Am Ceram Soc. 1981;64(9):533-538.
18. Quinn GD. Fractography of ceramics and glasses. National Institute of Standards and Technology; 2016. NIST Special Publication 960-16.
19. Zhang Y, Kelly JR. Dental ceramics for restoration and metal veneering. Dent Clin North Am 2017;61(4):797–819.
20. Fonzar RF, Carrabba M, Sedda M, Ferrari M, Goracci C, Vichi A. Flexural resistance of heat-pressed and CAD-CAM lithium disilicate with different translucencies. Dent Mater 2017;33(1):63–70.
21. Diken Türksayar AA, Demirel M, Donmez MB. Optical properties, biaxial flexural strength, and reliability of new-generation lithium disilicate glass-ceramics after thermal cycling. J Prosthodont. 2023;32(9):815-820.
22. Fonzar RF, Goracci C, Carrabba M, Louca C, Ferrari M, Vichi A. Effect of different surface treatments of lithium disilicate on the adhesive properties of resin cements. Materials 2021;14(12):3217.
23. Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. Dent Mater 2016;32(11):e275–e283.
24. Bae TS, Lee MH, Yoon SJ. Fracture behavior of ceramic restorative materials in the active environments. J Korean Res Soc Dent Mater. 2022;49(3):111-118.
25. Kim JY, Kim YK, Oh WS, Bae TS, Lee JJ, Lee MH, et al. Effect of Thermal Mismatch on Fracture Characteristics of Porcelain Veneered Lithia-Based Disilicate Posterior Ceramic Crown. Appl Sci. 2024;14(2):9682.
26. Kucukesmen HC, Usumez A, Ozturk N, Eroglu E. Change of shade by light polymerization in a resin cement polymerized beneath a ceramic restoration. J Dent. 2008;36(3):219-223.
27. Karaagaclioglu L, Yilmaz B. Influence of cement shade and water storage on the final color of leucite-reinforced ceramics. Oper Dent. 2008;33(4):386-391.
28. Barath VS, Faber FJ, Westland S, Niedermeier W. Spectrophotometric analysis of all-ceramic materials and their interaction with luting agents and different backgrounds. Adv Dent Res. 2003;17(1):55-60.
29. Yildirim B, Recen D, Tekeli Simsek A. Effect of cement color and tooth-shaded background on the final color of lithium disilicate and zirconia-reinforced lithium silicate ceramics: An in vitro study. J Esthet Restor Dent. 2020;33(2):380-386.
30. Kürklü D, Azer SS, Yilmaz B, Johnston WM. Porcelain thickness and cement shade effects on the colour and translucency of porcelain veneering materials. J Dent. 2013;41(11):1043-1050.
31. Kilinc E, Antonson SA, Hardigan PC, Kesercioglu A. The effect of ceramic restoration shade and thickness on the polymerization of light- and dual-cure resin cements. Oper Dent. 2011;36(6):661-669.
32. Swanson AK, Duqum IS, Heimisdóttir LH, Wright JT. Digital restorative workflows for developmental dental defects in young patients. J Am Dent Assoc. 2023;154(4):340-348.
33. Liang Z, Liao X, Zong H, Zeng X, Liu H, Wu C, et al. Pioneering the future of dentistry: AI-driven 3D bioprinting for next-generation clinical applications. Transl Dent Res. 2024;1(1):100005. doi:10.1016/j.tdr.

2024.100005.

34. Kong HJ, Kim YL. Application of artificial intelligence in dental crown prosthesis: a scoping review. BMC Oral Health. 2024;24(1):937. doi:10.1186/s12903-024-04657-0.
35. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. J Dent Res. 2020;99(7):769–774. doi:10.1177/0022034520915714.
36. Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. J Dent Res. 2021;100(3):232–244. doi:10.1177/0022034520969115.
37. Ahlers MO, Mörig G, Blunck U, Hajtó J, Pröbster L, Frankenberger R. Guidelines for the preparation of CAD/CAM ceramic restorations. Int J Comput Dent. 2009;12(4):309–325.
38. Denry I, Holloway JA. Ceramics for dental applications: a review. Materials. 2010;3(1):351–368. doi:10.3390/ma3010351.
39. Kelly JR, Benetti P. Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. Aust Dent J. 2011;56(s1):84–96. doi:10.1111/j.1834-7819.2010.01299.x.
40. Rekow ED, Silva NRFA, Coelho PG, Zhang Y, Guess P, Thompson VP. Performance of dental ceramics: challenges for improvements. J Dent Res. 2011;90(8):937–952. doi:10.1177/0022034510391795.
41. Aragonez GC, Pilecco RO, Dapieve KS, Burgo TAL, Guilardi LF, Prochnow C, et al. Simulation of CAD/CAM milling on lithium disilicate. J Mech Behav Biomed Mater. 2022;132:105278. doi:10.1016/j.jmbbm.2022.105278.
42. Payaminia L, Moslemian N, Younespour S, Koulivand S, Alikhasi M. Evaluating the effect of repeated use of milling burs on surface roughness and adaptation of digitally fabricated ceramic veneers. Heliyon. 2021;7(4):e06896. doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06896.
43. Zhang Y, Sailer I, Lawn BR. Fatigue of dental ceramics. J Dent. 2013;41(12):1135–1147. doi:10.1016/j.jdent.2013.10.007.
44. Abdulrahman S, Von See Mahm C, Talabani R, Abdulateef D. Evaluation of the clinical success of four different types of lithium disilicate ceramic restorations: a retrospective study. BMC Oral Health. 2021;21:625. doi:10.1186/s12903-021-01986-y.
45. Hofsteenge JW, Bresser RA, Buijs GJ, van der Made SAM, Özcan M, Cune MS, et al. Clinical performance of bonded partial lithium disilicate restorations: the influence of preparation characteristics on survival and success. J Dent. 2024;148:104828. doi:10.1016/j.jdent.2024.104828.

Review Article

리튬 디실리케이트 수복재료의 특성 및 AI 기반 향후 전망

신재우*

전북대학교 부설 생체흡수성소재연구소

리튬 디실리케이트(lithium disilicate)는 심미성, 접착 및 비교적 높은 기계적 강도를 갖춘 대표적인 글라스-세라믹 수복재료이다. 자연치와 유사한 색조와 반투명성을 재현할 수 있으며, 전치부 크라운, 라미네이트 비니어, 인레이, 온레이 및 단일치 수복에 폭넓게 적용되고 있다. 그러나 글라스 상을 포함하는 취성 재료라는 본질적 특성으로 인해 표면 및 내부 결함, 급격한 형상 변화, 반복적인 교합 하중, 습윤 환경 및 접착 계면의 열화는 균열의 개시와 전파를 유발하여 파절 위험을 높일 수 있다. 따라서 리튬 디실리케이트 수복의 장기적인 성공은 초기 굴곡강도뿐 아니라 미세구조, 파괴인성, 저속균열성장, 접착 안정성, 수복 설계, 가공 손상, 표면 마무리 및 교합 환경을 통합적으로 고려할 때 기대할 수 있다.

본 리뷰에서는 리튬 디실리케이트의 재료학적 특성, 광학적 특성, 파절 거동과 저속균열성장, 접착 메커니즘, CAD/CAM 기반 제작 과정에서의 가공 손상 및 인공지능 기반 워크플로우의 적용 가능성을 중심으로 고찰하였다. 향후 인공지능은 단순한 수복물 제작의 자동화가 아니라, 증례별 재료 선택, 최소 두께 확보, 응력 집중 완화, 가공 결함 저감, 접착 위험 평가 및 교합성 피로 위험 예측을 통합하는 임상 · 기공 의사결정 체계로 발전할 필요가 있다. 이러한 데이터 기반 접근은 리튬 디실리케이트 수복물의 장기 생존율을 높이는 데 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

색인단어 : 리튬 디실리케이트, 글라스-세라믹, 저속균열성장, 접착, 인공지능